

**MODELAGEM FUZZY APLICADA AO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS NO  
AEROPORTO INTERNACIONAL DE CONGONHAS (SP)**

**Alexsander José dos Santos (\*), Sandro Donnini Mancini, José Arnaldo Frutuoso Roveda, Sandra Regina Monteiro Masalskiene Roveda**

\*Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba, e-mail:  
alexandersantosjose@gmail.com

**RESUMO**

O presente estudo tem como objetivo apresentar um modelo baseado em regras fuzzy que permite avaliar o gerenciamento de resíduos sólidos de empreendimentos aeroportuários sob a ótica da coleta, transporte e armazenagem temporária. Para construção desse modelo, são necessárias quatro etapas a saber: módulo de fuzzificação, base de regras, inferência fuzzy e módulo de defuzzificação. Estão sendo efetuados testes preliminares do modelo para aplicação em para um estudo de caso do Aeroporto de Congonhas – SP, buscando acrescentar estratificações no que se refere aos distintos grupos de resíduos para que o indicador obtido com o modelo apresente situações mais delimitadas. Por fim, espera-se que o modelo possibilite não apenas uma avaliação geral da situação dos aeroportos, mas também uma base de informação comparativa para apoiar os tomadores de decisão em relação ao gerenciamento resíduos sólidos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Gerenciamento de resíduos, Modelagem fuzzy, Aeroportos Internacionais.

**ABSTRACT**

The present study aims to present a fuzzy rule based systems that allow to measure airport waste management from the point of view of collection, transportation and temporary storage. For the construction of the model, were necessary four steps: saber: fuzzification module, rule base, fuzzy inference and defuzzification module. Preliminary modeling tests for application in a case study at Congonhas Airport - SP, were made in search of strategies for interest groups to be submitted to a more detailed set of rules. Finally, it is expected that the model will provide not only a general assessment of the airport situation but also a comparative basis for decision makers on waste solid management.

**KEY WORDS:** Waste Managemte, Fuzzy Modeling, International Airport

**INTRODUÇÃO**

O gerenciamento de resíduos, entendido aqui como termo referente às ações realizadas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (Brasil, 2010), é regido por normas técnicas, leis e decretos federais, resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA e da Agência Nacional de Vigilância Sanitária-ANVISA, entre outras normas. Apesar da existência de legislação relacionada ao gerenciamento de resíduos sólidos em aeroportos, o tema ainda é incipiente, existindo poucos estudos na literatura que apoiem especificamente este tema dentre os quais destaca-se os estudos de Carra et al. (2013), o de Coentro (2017) e o de Baxter et al. (2018a).

A existência de lacunas nos estudos levantados sobre o tema, principalmente no que se refere a obtenção de um desempenho global dos aeroportos assim como a busca pela redução da geração de resíduos a fim de se alcançar operações mais sustentáveis e atingir o objetivo 12 da Agenda 30, que versa sobre consumo e produção sustentáveis, têm motivado o desenvolvimento deste trabalho que tem por objetivo desenvolver um modelo baseado em regras fuzzy que permita realizar um diagnóstico geral da situação de aeroportos sob a perspectiva das etapas de coleta, transporte e armazenagem temporária para apoiar o gerenciamento de resíduos nestes locais.

**OBJETIVOS**

O objetivo deste estudo é apresentar um modelo baseado em regras fuzzy que permite avaliar o gerenciamento de resíduos sólidos de empreendimentos aeroportuários sob a ótica da coleta, transporte e armazenagem temporária.



## METODOLOGIA

O modelo proposto neste estudo visa gerar um indicador da situação do aeroporto com relação à coleta, transporte e armazenagem temporária dos resíduos (ICTAT).

Para a elaboração do modelo optou-se pelos sistemas baseado em regras fuzzy que utilizam a lógica fuzzy para produzir saídas para cada entrada, sendo que as tarefas são controladas por intermédio de termos da linguagem usual, que permitem tanto o tratamento das subjetividades das variáveis quanto a incorporação do conhecimento de especialistas no momento de agregação e inferência (BARROS e BASSANEZI, 2010). As principais etapas para a elaboração desses sistemas estão apresentadas na Figura 1.

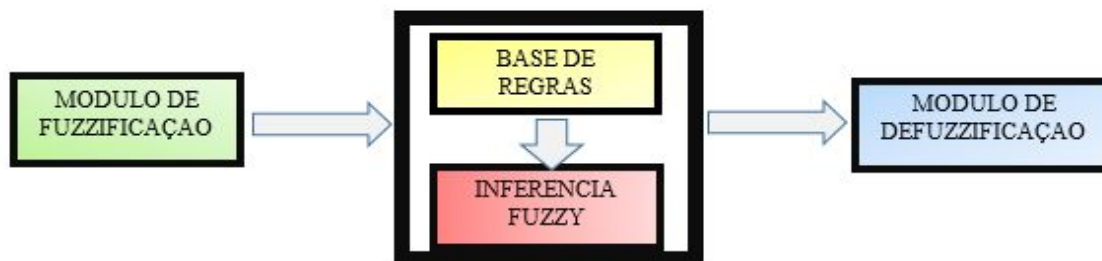


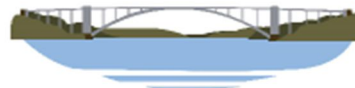
Figura 1: Etapas de um SBRF. Fonte: Adaptado de Barros e Bassanezi (2010).

A primeira etapa contemplou a seleção e fuzzificação das variáveis de entrada e saída. As variáveis de entrada, geração de resíduos, quantidade de dias de coleta, capacidade do veículo coletor e o número de viagens realizadas foram adaptadas do estudo de Carra et al (2013). A variável de saída, representa o indicador de coleta, transporte e armazenagem temporária dos resíduos (ICTAT). Nesta etapa cada uma das variáveis é descrita por meio de termos linguísticos e funções de pertinência adequadas caracterizando assim os conjuntos fuzzy. Os Quadros 1 e 2 apresentam as variáveis de entrada e de saída do sistema e as informações utilizadas para a elaboração dos conjuntos fuzzy.

A etapa seguinte compreendeu a elaboração da base de regras. Essa é uma etapa central no desenvolvimento dos sistemas baseados em regras fuzzy (SBRF). As regras foram elaboradas considerando a estrutura “se-então” que relaciona as variáveis de entrada e saída definidas a partir do conhecimento do especialista. Para este sistema foram elaboradas 81 regras que exprimem todas as possibilidades de associações entre as variáveis de entrada e saída. Segue um exemplo:

“Se a geração de resíduos é satisfatória, a quantidade de dias de coleta é satisfatória, a capacidade do veículo coletor é satisfatória e o número de viagens é satisfatório, então o indicador de coleta, transporte e armazenagem temporária é excelente.”

As etapas de inferência e defuzzificação, são as etapas finais de elaboração do SBRF. No processo de inferência, cada proposição é traduzida matematicamente empregando técnicas de lógica fuzzy, onde será produzida uma saída fuzzy a ser adotada pelo modelador/controlador do sistema, a partir de cada entrada fuzzy. Adotou-se neste trabalho, o método de inferência do tipo Mamdani, que realiza a agregação do conjunto de regras por intermédio de um operador de união de todas as relações individuais. Fundamentado na regra de composição de inferência “max-mín”, este método sugere uma relação fuzzy binária para modelar matematicamente a base de regras (BARROS e BASSANEZI, 2010). E, finalmente, na etapa de defuzzificação um conjunto fuzzy é representado por um valor crisp (valor real), isto é, converte-se uma quantidade fuzzy em uma quantidade real (BARROS e BASSANEZI, 2010; ROSS, 2004). O método de defuzzificação utilizado foi o centróide, que traz a média das áreas de todas as figuras que representam os graus de pertinência de um subconjunto fuzzy.



**Quadro 1: Informações sobre as variáveis de entrada do modelo. Para cada variável é apresentada sua descrição, intervalo de definição (domínio), termos linguísticos utilizados para sua identificação e o tipo de função de pertinência adequada para cada conjunto fuzzy. Fonte: Elaborado com base em Carra et al. (2013) e INFRAERO (2015).**

NOME DA VARIÁVEL	DESCRIÇÃO DA VARIÁVEL	DOMÍNIO	ESCALAS FUZZY <sup>1</sup>		
			INSATISFATÓRIO FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA TRAPEZOIDAL	PARC. SATISFATÓRIO FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA TRIANGULAR	SATISFATÓRIO FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA TRAPEZOIDAL
<b>Geração de Resíduos (Toneladas)</b>	Com base em Carra et al. (2013), que apresentou um índice no qual se analisava a geração de resíduos pela movimentação de aeronaves, foram estabelecidos os valores desse indicador, com a perspectiva da redução e minimização da produção de resíduos.	[1728,4970]	[3500,4518,4970,4970]	[2700,3500,4518]	[1728,1728,2700,3500]
<b>Quantidade de dias de coleta (Dias)</b>	Partindo da quantidade de vezes por dia em que os resíduos são coletados (comuns ou infectantes), estabeleceu-se as escalas para esse indicador, fundamentando-se nos valores utilizados por Carra et al (2013).	[0,7]	[0,0,1,2]	[1,2,3]	[2,4,7,7]
<b>Capacidade do veículo coletor (toneladas)</b>	Com os dados de geração de resíduos e quantidade de dias de coleta, foram definidas escalas de atendimento da coleta no aeroporto, indicando a quantidade necessária de capacidade do veículo coletor para cada viagem.	[0;14,40]	[0,0,2,5.60]	[5.60,10,14.40,14.40]	[2;5.60;10]
<b>Número de Viagens Realizadas</b>	Definiu-se as escalas para esse indicador, baseando-se na quantidade produzida por dia, delimitando o número de viagens necessárias, com o intuito de reduzir os custos de transportes relacionados.	[0,56]	[0,0,14,28]	[28, 42, 56,56]	[14, 28, 42]

<sup>1</sup> Quando existir quatro valores de escala trata-se de funções de pertinência trapezoidais e as de três valores são denominadas triangulares.



Quadro 2: Informações sobre a variável de saída do modelo: descrição, intervalo de definição (domínio), termos

NOME DA VARIÁVEL	DESCRIÇÃO DA VARIÁVEL	DOMÍNIO	ESCALAS FUZZY <sup>2</sup>				
			PÉSSIMO FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA TRAPEZOIDAL	RUIM FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA TRIANGULAR	REGULAR FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA TRIANGULAR	BOM FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA TRIANGULAR	EXCELENTE FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA TRAPEZOIDAL
<b>Indicador de Coleta, Transporte e Armazenagem Temporária)</b>	Essa variável traz a avaliação do aeroporto nas etapas de coleta, transporte e armazenagem temporária, tendo como base as variáveis de entrada apresentadas, sendo que quanto mais próximo de 1 o valor obtido, o empreendimento possui desempenho adequado.	[0,1]	[0,0,0.1,0.2]	[0.1,0.2,0.4]	[0.2,0.4,0.7]	[0.4,0.7,0.9]	[0.7,0.9,1.0,1.0]

linguísticos utilizados para sua identificação e o tipo de função de pertinência adequada para cada conjunto fuzzy. Fonte: Elaborado pelos autores do trabalho

## RESULTADOS

O modelo foi implementado a partir do pacote FuzzyToolkitUoN disponível no software livre R (R CORE TEAM, 2017). As figuras 2, 3, 4, 5 e 6 mostram as funções de pertinência para as variáveis de entrada e saída do modelo, respectivamente geração de resíduos, dias de coleta, capacidade do veículo coletor (variáveis de entrada) e indicador de coleta, transporte e armazenagem temporária (variável de saída).

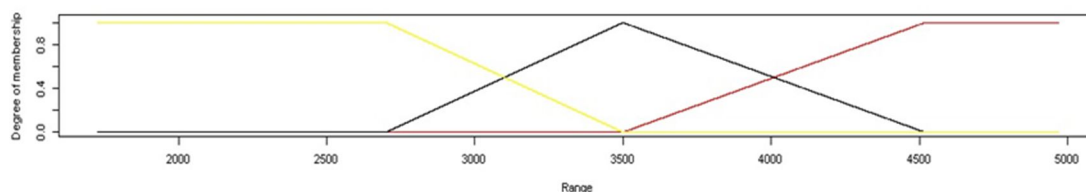


Figura 2: Função de pertinência da variável geração de resíduos. Fonte: Autores do trabalho.

<sup>2</sup> Quando existir quatro valores de escala trata-se de funções de pertinência trapezoidais e as de três valores são denominadas triangulares.

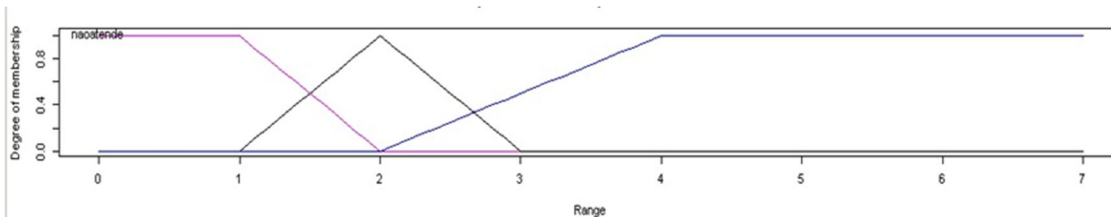


Figura 3: Função de pertinência da variável dias de coleta. Fonte: Autores do trabalho.

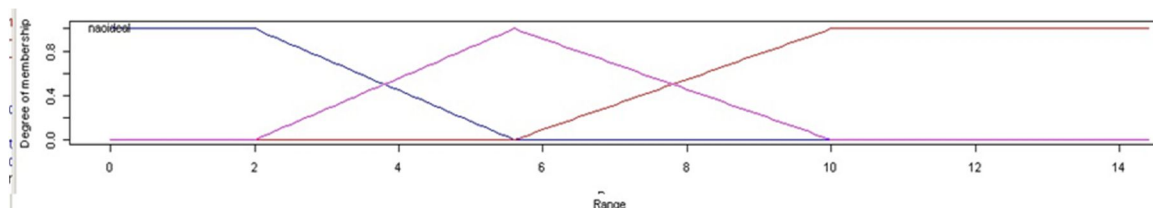


Figura 4: Função de pertinência da variável capacidade do veículo coletor. Fonte: Autores do trabalho.

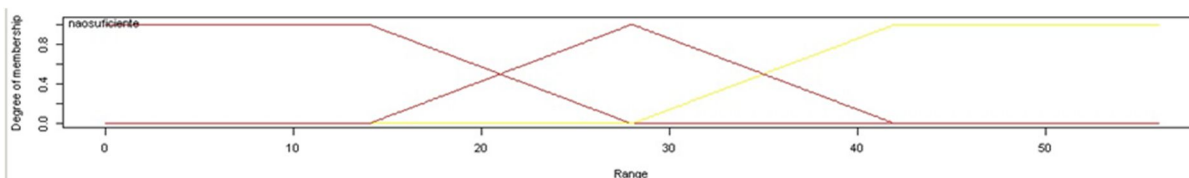


Figura 5: Função de pertinência do variável número de viagens realizadas. Fonte: Autores do trabalho.

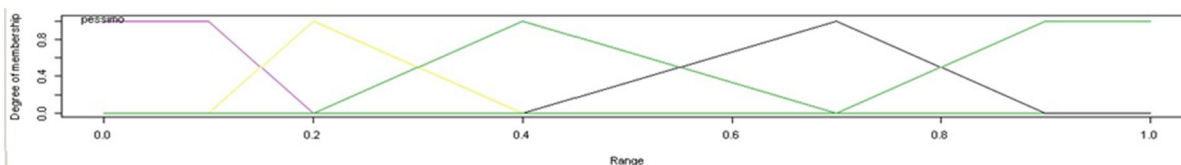


Figura 6: Função de pertinência do variável indicador de coleta, transporte e armazenagem temporária. Fonte: Autores do trabalho

Está sendo elaborado um banco de dados do Aeroporto Internacional de Congonhas, estado de São Paulo a partir de dados disponíveis no Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos do aeroporto estudado (INFRAERO, 2015) e no Plano Estadual de Resíduos Sólidos de São Paulo (SÃO PAULO, 2014) e testes preliminares estão sendo realizados no modelo desenvolvido. Este aeroporto foi escolhido como estudo de caso por este empreendimento administrado por uma empresa pública, a INFRAERO, o que deve proporcionar maior disponibilidade de acesso aos dados e também por possuir maior movimento de passageiros, gerando conseqüente uma quantidade maior de resíduos.

## CONCLUSÕES

Este estudo apresenta a modelagem para um indicador de coleta, transporte e armazenagem temporária dos resíduos (ICTAT) que deverá apoiar o gerenciamento de resíduos em aeroportos.

O indicador foi construído a partir de sistemas baseados em regras fuzzy que permitiram incorporar o conhecimento especialista nas avaliações. Testes preliminares estão sendo realizados para um estudo de caso do Aeroporto de Congonhas – SP.

O próximo passo desse estudo é incorporar no modelo estratificações com relação aos diferentes grupos de resíduos para que o indicador expresse situações mais delimitadas. Além disso, serão realizados testes estatísticos para avaliar o desempenho do modelo proposto.

Espera-se que este modelo permita não só um diagnóstico geral da situação dos aeroportos como propicie uma base de informação comparativa para apoiar os tomadores de decisão.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. BARROS, L.C.; BASSANEZI, R.C. **Tópicos de lógica Fuzzy e biomatemática**. UNICAMP/IMECC, Campinas, SP, 2010.
2. BAXTER, G.; SRISAENG, P.; WILD, G. **An Assessment of Airport Sustainability, Part 1—Waste Management at Copenhagen Airport**. Resources, Basel (SUIÇA), v.7, n.1, p.1-24, mar. 2018a.
3. BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei Nº 12.305**, de 2 de agosto de 2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências. Brasília: Casa Civil, 2010.
4. CARRA, T. A.; CONCEICAO, F. T. da; TEIXEIRA, B. B. **Indicadores para a gestão de resíduos sólidos em aeroportos e sua aplicação no Aeroporto Internacional de Viracopos**. Campinas, São Paulo. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro, v. 18, n. 2, p. 131-138, Jun. 2013.
5. COENTRO, Rita Maria Cunha Leite. **Gestão de resíduos sólidos em aeroportos: estudo de caso do Aeroporto de Congonhas-São Paulo**. Campinas, 2017. 98 p. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade) – Centro de Economia e Administração, Pontifícia Universidade Católica de Campinas.
6. INFRAERO. **Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos do Aeroporto de Congonhas**. São Paulo, 2015.
7. R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2017. URL <https://www.R-project.org/>.
8. ROSS, T. J. **Fuzzy Logic with engineering applications**. 2ed. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 2004.
9. SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. **Plano de resíduos sólidos do estado de São Paulo** [recurso eletrônico] / Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, Coordenadoria de Planejamento Ambiental, CETESB; Autores André Luiz Fernandes Simas ... [et al.]; Organizadores André Luiz Fernandes Simas, Zuleica Maria de Lisboa Perez. – 1a ed. – São Paulo: SMA, 2014. 350 p.