

6- CONCLUSÕES

O uso de programação linear em problemas práticos tem sido fonte de diversos estudos e trabalhos publicados em congressos e em revistas especializadas. Entretanto, os modelos de programação linear não tratam bem os casos onde existem incertezas nos coeficientes tecnológicos e nos custos. Para estes tipos de problemas foram idealizadas outras metodologias, como a programação estocástica, que modela as incertezas como distribuições de probabilidade e a programação linear *fuzzy*, que modela as incertezas como distribuições de possibilidade.

Diversas metodologias para a resolução de modelos de programação linear *fuzzy* tem sido desenvolvidas, bem como algumas aplicações práticas. Este trabalho apresentou uma metodologia para resolução de problemas de programação linear *fuzzy* onde os coeficientes possuem incertezas. Como aplicação foi escolhido um problema de mistura de carvões para a obtenção de coque metalúrgico, a ser utilizado no alto forno de siderúrgicas.

Portanto, o trabalho aqui apresentado teve como principais objetivos mostrar a viabilidade do uso da programação linear *fuzzy* em um problema real, e desenvolver uma metodologia que permita resolver este problema de forma rápida e eficiente, propiciando ao usuário (tomador de decisões) diferentes cenários, conforme as variações dos coeficientes. O exemplo que compõem o estudo de casos mostrou, a partir dos bons resultados observados, a viabilidade do uso de tal metodologia.

Como parte dos estudos, o problema exemplo foi também resolvido pela metodologia tradicional, onde os dados do problema são considerados *crisp*. Como exercício foi utilizada a análise de sensibilidade para a obtenção das possíveis faixas de variação para os coeficientes da função objetivo, coeficientes custo, e para as constantes do lado direito das restrições (RHS).

Em seguida, a metodologia de programação possibilística foi aplicada ao mesmo problema. Os resultados obtidos se apresentam coerentes com os apresentados pela solução *crisp*.

A metodologia desenvolvida no Capítulo 4 foi aplicada em seguida, sendo obtidas faixas de variação para o valor da função objetivo e para os valores das variáveis de decisão.

Por último, foi apresentada a solução obtida via Simulação. A idéia foi resolver o mesmo problema de forma iterativa, variando-se a cada iteração os valores dos coeficientes. A escolha de cada um dos coeficientes obedeceu ao fato de eles terem sido modelados como números *fuzzy* triangulares.

O fato de terem sido alcançados valores próximos, indica que as metodologias aqui utilizadas estão coerentes. Entretanto, pode-se ressaltar que a resolução do problema *crisp* e a utilização da análise de sensibilidade para obter a faixa de valores para cada um dos coeficientes é, de fato, limitada no que tange a casos práticos. Na análise de sensibilidade apenas um coeficiente muda de cada vez; quando houver uma mudança simultânea em mais de um coeficiente, os resultados obtidos já não terão mais a acuidade desejada. Cabe aqui ressaltar que não foram calculadas as faixas de valores para os coeficientes que representam as qualidades; apenas as variações dos coeficientes de custo e das disponibilidades das qualidades (*RHS*) foram observadas para a análise.

Na programação possibilística foi necessário que se resolvesse o problema diversas vezes, de forma a se obter uma faixa de valores possíveis.

A simulação foi uma alternativa de se resolver o problema na “força bruta”, ou seja, o problema é resolvido diversas vezes para se obter as faixas de variação para o valor da função objetivo. Portanto, este tipo de técnica para resolução de modelos de programação linear *fuzzy* é viável apenas para pequenos problemas, onde são poucas as variáveis e as restrições. Entretanto, quando há muitas variáveis e/ou restrições, essa metodologia é menos indicada, pois passa a ser mais demorada, requerendo maior tempo de processamento.

No Capítulo 4 foi desenvolvida a parte teórica necessária para a formalização do método. Para isto, tratou-se primeiramente da determinação da região de viabilidade, pois, ao se fazer variar cada um dos coeficientes, não mais se tem um ponto ótimo, mas sim uma região onde é possível encontrá-lo, sendo que cada ponto dentro desta região é definido por um grau de possibilidade. Para isso, foram observadas as variações das restrições. Em seguida, tendo em vista que já fora determinada a região onde estão os possíveis valores ótimos, foi estudada a função objetivo, que, com a possível variação de cada um dos

coeficientes (c_j , onde $j = 1, \dots, m$), tem sua inclinação alterada e, desta forma, passa a definir uma faixa de abrangência. Assim, foi possível determinar dois modelos de programação linear que são responsáveis pela determinação das faixas de valores do valor ótimo.

A metodologia apresentada fornece como resultado uma faixa de possíveis valores para o valor da função objetivo quando todos os coeficientes do modelo possuem incertezas, sendo modelados como números *fuzzy*. Os resultados obtidos mostraram que é viável o uso corrente desta metodologia que, além de acurada, resolve de forma simples os problemas práticos.

Durante a pesquisa foram observados alguns tópicos que podem ser investigados e desenvolvidos em trabalhos futuros.

✓ Utilização de outra função de pertinência:

O estudo de casos apresentado neste trabalho utilizou apenas funções de pertinência triangulares simétricas para representar as incertezas dos coeficientes. As características do problema de programação linear *fuzzy* permitem que se investigue o uso de outras funções de pertinência, como, por exemplo, a função triangular não simétrica, e a função gaussiana. Isso pode indicar a viabilidade do seu uso para diferentes casos práticos.

✓ Uso de outro problema exemplo:

A utilização do problema de mistura serviu para exemplificar e indicar a viabilidade da pesquisa proposta. Porém, apesar de ter sido aplicado a um problema específico de misturas de componentes, deve ser estudado o seu uso num outro tipo de problema de programação linear. A metodologia proposta é aplicável a qualquer problema de programação linear, sendo que a sua utilização em outros problemas deve ser testada para demonstrar a sua generalidade.

✓ Desenvolvimento Computacional:

A metodologia proposta não se encontra implementada em computador, sendo, atualmente, resolvido no *software* LINDO, que trabalha em ambiente *Windows*. A dificuldade encontrada é calcular automaticamente os coeficientes que serão utilizados a cada iteração. Portanto, deve ser avaliada a possibilidade de se implementar o procedimento em ambiente interativo. Este programa deve ser composto por dois módulos, onde em um primeiro módulo será utilizado um programa mestre responsável pelo cálculo dos coeficientes que serviram para montar o problema a ser resolvido. No segundo módulo, será utilizado o próprio

software de otimização comercial, por exemplo, o LINDO. Assim, uma parte passa a ser responsável pela geração de cada um dos problemas, que será resolvido em seguida no LINDO. A sua efetiva implementação computacional tornaria mais fácil a sua aplicação a casos práticos. Com isso, a utilização da programação linear em ambiente de incertezas, ou ambiente *fuzzy*, pode se tornar mais amigável e automática.