

6 Conclusões

Esta tese apresentou um novo problema de otimização, enfrentado por organizadores de competições esportivas. O Problema de Atribuição de Árbitros (PAA) ainda não havia sido estudado no contexto considerado neste trabalho. Este problema, comum a várias ligas esportivas amadoras, pode envolver a consideração de múltiplos objetivos e restrições. Assim, diversas variantes foram discutidas nesta tese, em particular a denominada versão básica, cuja versão de decisão foi demonstrada ser um problema NP-completo. Foram também consideradas outra variante mono-objetivo e uma variante bi-objetivo. Abordagens de resolução exata e aproximadas foram propostas.

Considerou-se inicialmente a variante básica do PAA, para a qual foram propostos três modelos de programação linear inteira, que possibilitaram a resolução exata, através de um resolvidor comercial, de instâncias de médio porte com até 120 partidas e 240 árbitros. Para tratar instâncias de tamanho real foram também propostos algoritmos aproximados baseados na metaheurística ILS. A abordagem em três fases proposta prevê a construção de soluções que podem eventualmente ser inviáveis, passando neste caso por uma fase de reparação, para somente então serem submetidas à fase de melhoria. Este tipo de abordagem, apesar de ainda pouco explorada na literatura, mostrou-se muito eficiente na resolução do PAA, que é um problema para o qual não é trivial encontrar soluções viáveis, devido ao grande número de restrições envolvidas.

Para desempenhar a primeira fase da estratégia foram propostos três diferentes algoritmos construtivos. A segunda fase consiste em uma heurística reparadora baseada na metaheurística ILS, que se mostrou capaz de viabilizar todas as soluções iniciais inviáveis retornadas pelas heurísticas construtivas. Esta heurística reparadora conseguiu também, em diversos casos, obter soluções viáveis mesmo partindo de soluções iniciais geradas de forma completamente aleatória. Uma heurística aprimorante, também baseada em ILS, representa a terceira fase da abordagem e tem o objetivo de melhorar as soluções viáveis obtidas nas fases anteriores. Uma abordagem híbrida, que substituiu o procedimento de busca local pela resolução exata de um modelo de programação inteira, foi também utilizada e comparada com a abordagem de busca

local por vizinhanças.

Os resultados computacionais relatados nesta tese foram obtidos para um grupo de instâncias teste geradas artificialmente seguindo padrões similares aos observados em ligas reais de futebol da Califórnia, com até 500 partidas e 750 árbitros. Estes resultados mostraram a eficiência das abordagens propostas.

Uma segunda variante do PAA com outra função objetivo foi também considerada. Adaptações das heurísticas apresentadas para a versão básica foram propostas e foram apresentados os resultados numéricos. Um novo algoritmo construtivo foi proposto, bem como uma adaptação da heurística de três fases e da abordagem híbrida que combina a busca local por vizinhanças e a resolução exata de sub-problemas de programação inteira.

Adicionalmente, foi investigado o uso de técnicas de otimização multi-critério aplicadas a uma variante bi-objetivo do PAA, que considera simultaneamente as duas funções objetivo tratadas anteriormente. Métodos exatos e aproximados para a construção das fronteiras das soluções eficientes (ou potencialmente eficientes) foram propostos. O conjunto mínimo completo de soluções eficientes foi computado para instâncias de médio porte através do método dicotômico. Foi apresentada uma abordagem aproximada promissora, baseada nas heurísticas de três fases propostas para as variantes mono-objetivo e utilizando estratégias híbridas de busca local com vizinhanças e resolução exata por programação inteira. Foi proposto também um procedimento de reconexão por caminhos que foi utilizado como técnica de pós-otimização, que melhorou a qualidade da fronteira encontrada. Comparações entre as fronteiras Pareto computadas de maneira exata pelo método dicotômico para instâncias de médio porte e as fronteiras aproximadas obtidas pela abordagem aproximada mostraram a qualidade das soluções obtidas pelas heurísticas.

A consideração de restrições e funções objetivo adicionais é uma possibilidade para trabalhos futuros. Um exemplo de situação que pode ser relevante é o caso em que os árbitros podem arbitrar partidas em diferentes localidades no mesmo dia. Neste caso, torna-se natural a necessidade de minimização das distâncias viajadas pelos árbitros ou mesmo o número de viagens. Além disso, os resultados promissores obtidos pela abordagem híbrida que combinou a metaheurística ILS com resolução exata, bem como a simplicidade de sua extensão para outras metaheurísticas, mostram que a hibridização de metaheurísticas com algoritmos exatos pode levar a algoritmos mais rápidos e robustos e deve ser mais explorada. Finalmente, outra linha para futuras pesquisas é a investigação de novas formas de utilização das heurísticas de reconexão por caminhos na resolução de problemas multi-objetivo, uma vez que estes procedimentos têm se mostrado promissores.