

**FUNDAMENTOS DA CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO:
ALGORITMOS COMBINATÓRIOS E ESTRUTURAS DISCRETAS**

Y. KOHAYAKAWA

RESUMO. Apresentamos neste relatório as atividades científicas de nossa equipe no período de julho de 2004 a junho de 2005.

SUMÁRIO

1. Introdução	2
2. Desenvolvimento do projeto de pesquisa	3
3. Publicações	5
4. Orientações	5
5. Seminários	5
6. Visitas	6
7. Participação em comitês de eventos ou de assessorias	6
8. Aplicação dos recursos da reserva técnica	6

1. INTRODUÇÃO

Este relatório científico refere-se ao período de julho de 2004 a junho de 2005. Enumeramos sucintamente algumas informações para dar uma visão global da nossa equipe e das nossas atividades neste período. Nas demais seções detalhamos cada uma dessas atividades.

Informações atualizadas sobre o presente projeto podem ser encontradas em

<http://pronex-focos.incubadora.fapesp.br/portal>.

1.1. Equipe. A equipe do projeto *Fundamentos da Ciência da Computação: algoritmos combinatórios e estruturas discreta* (Processo 2003/09925-5) é formada por 22 pesquisadores, dos quais 10 são do estado de São Paulo e 8 são de outros estados. A equipe conta com (i) 10 pesquisadores do CNPq, sendo 6 deles nível 1, (ii) 6 pesquisadores com doutorado de 1998 ou mais recentes. Um dos participantes é um pós-doutor do exterior. As instituições envolvidas são 5, sendo 3 delas consolidadas na área e 2 delas emergentes: USP, UNICAMP, UFPE, UFMS e UFPR.

1.2. Publicações. A lista de publicações no período consiste de

- 43 artigos (publicados ou aceitos) em periódicos internacionais com arbitragem;
- 24 trabalhos completos/resumos estendidos em anais de congressos internacionais;
- 1 livro e 1 texto para a II Bienal de Matemática;
- 24 trabalhos submetidos a periódicos ou congressos.

Embora o volume de trabalhos publicados em periódicos por nossa equipe não seja particularmente grande, destacamos que estes trabalhos apareceram ou vão aparecer em *periódicos de primeira linha*, como *Advances in Applied Mathematics*, *Algorithmica*, *Annals of Combinatorics*, *Combinatorics*, *Probability, and Computing*, *Discrete Applied Mathematics*, *Discrete Mathematics*, *European Journal of Combinatorics*, *IEEE Transactions on Computers*, *Journal of Combinatorial Theory – Series A and B*, *Journal of Graph Theory*, *Israel Journal of Mathematics*, *SIAM Journal on Discrete Mathematics*, *Mathematical Programming*, *Random Structures and Algorithms*, *Theoretical Computer Science*, e *Theoretical Informatics and Applications*.

1.3. Orientações. Esta equipe é atualmente responsável por 15 alunos de doutorado e 27 alunos de mestrado. Durante este período, a equipe formou 6 doutores e 11 mestres.

Um dos membros da equipe é um pós-doutor, proveniente dos EUA. Recentemente, a equipe encaminhou à FAPESP o pedido de mais duas bolsas de pós-doutorado, de candidatos do exterior (um da França e outro da Alemanha).

1.4. Eventos, seminários e visitas. Membros da nossa equipe co-organizaram o *GRACO 2005: Second Brazilian Symposium on Graphs, Algorithms and Combinatorics*, realizado em Angra dos Reis, abril, 2005. Também participaram do Comitê de programa de vários outros eventos. Alguns membros participaram ativamente da *II Bienal de Matemática*, em Salvador, julho 2004, onde ministraram um *Minicurso sobre Teoria dos Grafos*, e outros participaram da *Jornada de Atualização em Informática*, evento do Congresso da SBC, onde ministraram um curso sobre *Algoritmos e heurísticas para comparações exata e aproximada de seqüências*.

As equipes do IME-USP e do IC-UNICAMP mantêm e participam ativamente de um seminário semanal com a participação de visitantes estrangeiros do grupo e pesquisadores nacionais de outras instituições ou departamentos.

A equipe recebeu a visita de 9 pesquisadores no período, cujas permanências variaram desde alguns dias a algumas semanas. Dentre os visitantes destacamos M. Simonovits (Budapeste), M.-F. Sagot (Lyon), U.S.R. Murty (Waterloo) e A. Steger (Zurique).

2. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DE PESQUISA

Os principais subtemas contemplados no projeto são:

- (1) *Métodos diversos para o desenvolvimento de algoritmos para problemas de otimização combinatória.*
- (2) *Problemas combinatórios em biologia computacional.*
- (3) *Aspectos estruturais de grafos e objetos correlatos.*
- (4) *Propriedades assintóticas de estruturas combinatórias.*

Dentre os tópicos específicos que foram abordados no período, sobre os quais resultaram publicações, mencionamos:

Tópicos específicos

- Algoritmos de aproximação
- Algoritmos para problemas de empacotamento
- Combinatória poliédrica e algoritmos
- Algoritmos combinatórios para biologia
- Grafos cobertos por emparelhamentos
- Fluxos, circuitos e árvores geradoras em grafos
- Matróides e aspectos matroidais em grafos
- Objetos pseudo-aleatórios e suas aplicações
- Problemas extremais tipo Turán para grafos aleatórios
- Enumeração de grafos com subgrafos proibidos

2.1. Qualidade dos resultados obtidos. A lista de periódicos e dos eventos nos quais os trabalhos foram aceitos atesta a qualidade dos resultados obtidos pela equipe.

Apenas a título de ilustração, destacamos a seguir alguns dos resultados obtidos pelos membros deste projeto.

- (1) M.H. Carvalho, C.L. Lucchesi, and U.S.R. Murty, The perfect matching polytope and solid bricks, *Journal of Combinatorial Theory (B)*, 92 (2004), 319-324.

Os autores obtiveram um resultado interessante sobre o politopo dos emparelhamentos perfeitos de um grafo. Em 1965, J. Edmonds mostrou que um vetor $x \in \mathbb{Q}^E$ pertence ao politopo $P(G)$ dos emparelhamentos perfeitos de um grafo $G = (V, E)$ se e só se ele satisfaz as inequações: (i) $x \geq 0$, (ii) $x(\delta(v)) = 1$, para todo vértice v em G e (iii) $x(\delta(S)) \geq 1$ para todo subconjunto ímpar S de V . Os autores caracterizaram os grafos para os quais o politopo dos emparelhamentos perfeitos é determinado pelas classes de restrições (i) e (ii).

- (2) Y. Kohayakawa, F.K. Miyazawa, P. Raghavan and Y. Wakabayashi. Multidimensional Cube Packing. *Algorithmica*, 40 (3) (2004), 173-187.

Neste artigo os autores consideram o seguinte problema clássico de empacotamento de cubos d -dimensionais, sabidamente NP-difícil: dada uma lista L de cubos d -dimensionais, encontrar um empacotamento de L em um número mínimo de cubos d -dimensionais. Os autores apresentam, para d fixo, um algoritmo de aproximação, com razão de desempenho assintótico arbitrariamente próximo de $2 - (2/3)^d$. Esse resultado melhorou a razão conhecida até então para os casos $d = 2$ e $d = 3$, e foram os primeiros com razão não-exponencial na dimensão. Recentemente esses resultados foram superados por outros obtidos por J. Correa e Kenyon, bem como Bansal e Srividenko, que mostraram a existência de um esquema de aproximação polinomial (PTAS) assintótico para o problema. Em termos teóricos a existência de um PTAS é um resultado mais forte; isso, porém, não diminui o interesse por algoritmos de aproximação polinomiais com boas razões de desempenho, devido à sua importância prática. Nesse sentido, consideramos esse resultado relevante.

- (3) M. Lemos, On the number of non-isomorphic matroids. *Advances in Applied Mathematics*, Academic Press, 33 (2004), 733-746.

Neste trabalho, o autor provou a seguinte conjectura de Welsh, de 1969. Seja $f(n)$ o número de matróides não-isomorfos sobre um conjunto com n elementos. Para todos os inteiros não-negativos m e n , tem-se que $f(m+n) \geq f(m)f(n)$. Em 1973, Blackburn, Crapo e Higgs encontraram todos os matróides não-isomorfos com até 8 elementos e mencionaram acreditar que essa conjectura era verdadeira; a prova só foi obtida recentemente, mais de 30 anos depois dessa asserção.

- (4) V. Rödl, B. Nagle, J. Skokan, M. Schacht, and Y. Kohayakawa, The hypergraph regularity method and its applications, *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)*, 102 (23), 2005, 8109-8113.

Uma técnica poderosa na investigação da estrutura de grafos é o assim chamado *método da regularidade*, que compreende o lema da regularidade de Szemerédi e um lema de ‘contagem’ de subgrafos em grafos pseudoaleatórios.

Frankl e Rödl (1992, 2002) propuseram a generalização deste método para hipergrafos, tendo em vista as potenciais aplicações. De fato, se bem sucedido, este projeto forneceria uma nova prova combinatória do célebre teorema de Szemerédi sobre progressões aritméticas em conjuntos densos de inteiros, e também forneceria demonstrações puramente combinatórias de generalizações provadas por Furstenberg e Katznelson através de métodos da teoria ergódica. O método da regularidade para hipergrafos teria também aplicações em outros problemas extremos combinatórios e geométricos, e em problemas da teoria da computação.

Recentemente, Rödl, Nagle, Skokan, e Schacht finalmente tiveram sucesso neste projeto, e o método da regularidade para hipergrafos foi estabelecido. Um dos instrumentos deste método foi a redução da prova do lema de contagem para a aplicação de um resultado de contagem anteriormente estabelecido por Kohayakawa, Rödl, e Skokan. O trabalho acima discute o método da regularidade para hipergrafos e suas conseqüências.

O método da regularidade para hipergrafos foi também estabelecido por W.T. Gowers (Cambridge), através de técnicas diferentes e de forma independente. Mais recentemente, T. Tao (UCLA) também obteve resultados equivalentes.

2.2. Desempenho da equipe. O desempenho da equipe, embora não tenha sido homogêneo no período desse relatório, foi satisfatório, considerando globalmente todas as atividades que foram realizadas e os vários estágios em que se encontram os membros da equipe. Praticamente todos os pesquisadores do grupo tiveram publicações em periódicos ou congressos, ou contribuíram com orientações.

No que diz respeito a publicações, mencionamos a destacada atuação dos pesquisadores Y. Kohayakawa, M. Lemos, C. L. Lucchesi, M.H. de Carvalho, J. Skokan e C.C. de Souza, tanto em termos quantitativos como qualitativos. Em termos de orientações em andamento ou concluídas, destacamos a atuação dos pesquisadores R. Dahab, C.E. Ferreira, A.L.P. Guedes, Y. Kohayakawa, F.K. Miyazawa e Y. Wakabayashi.

Vários membros da equipe participaram na organização do GRACO 2005 (*Second Brazilian Symposium on Graphs, Algorithms and Combinatorics*), realizado em Angra dos Reis, 27–29 abril/2005. Membros da equipe atuaram na co-coordenação desse evento, no comitê de programa e no comitê organizador. Também atuaram nos comitês de programa de vários outros eventos, mostrando o engajamento de seus membros em atividades dessa natureza.

Também foi bastante destacada a participação de membros desse projeto em atividades de assessoria junto aos órgãos de fomento: Cláudio Lucchesi é membro do Comitê Assessor em Ciência da Computação do CNPq, Y. Wakabayashi participou do Comitê Assessor em Ciência da Computação da CAPES até dezembro de 2004.

3. PUBLICAÇÕES

As publicações de nosso grupo no período coberto por este relatório encontram-se no documento anexo “Publicações.” Esta lista pode também ser consultada na página do projeto.

4. ORIENTAÇÕES

A lista dos alunos que estão sendo orientados ou foram orientados recentemente pelos membros deste projeto encontra-se no documento “Orientações.” Esta lista encontra-se também na página do projeto.

5. SEMINÁRIOS

Os seminários organizados pelo grupo encontram-se no documento anexo “Seminários.” Os títulos dos seminários e seus respectivos resumos podem também ser consultados na página do projeto.

6. VISITAS

No documento “Visitas”, que se encontra anexo, listamos os pesquisadores que visitaram as instituições participantes deste projeto, bem como as visitas que foram feitas por membros deste projeto.

7. PARTICIPAÇÃO EM COMITÊS DE EVENTOS OU DE ASSESSORIAS

No documento “Comitês” listamos os eventos em que houve participação dos pesquisadores desta equipe como membros de comitês de programa ou de organização. Também mencionamos a participação de membros da equipe em comitês de assessoria.

8. APLICAÇÃO DOS RECURSOS DA RESERVA TÉCNICA

No período deste relatório foram efetuados os seguintes gastos.

- (1) **Reserva Técnica.** Um total de R\$10.245,00 foi utilizado para o pagamento de *diárias* a visitantes do exterior. Além disso, um total de R\$1.235,00 foi utilizado para manutenção de equipamentos de informática
- (2) **Benefícios Complementares.** Um total de R\$ 1.095,00 foi utilizado para financiar a participação do Prof. André L.P. Guedes (UFPR) no GRACO 2005 (*Second Brazilian Symposium on Graphs, Algorithms and Combinatorics*), onde o mesmo apresentou um trabalho. Esse recurso foi contabilizado dentro da parcela dos benefícios complementares concedidos a Y. Kohayakawa.

Observamos que a participação de membros da equipe em eventos foi em grande parte financiada através de outras fontes. Finalmente, observamos que compras de equipamentos (computadores pessoais) estão em andamento tanto na UNICAMP como na USP, devendo se concretizar em breve.