

Volume 5 Número 1 Dezembro de 2005

ISSN 1519-8022

REVISTA DE CIÊNCIA & TECNOLOGIA

A revista tecnológica da UNIG



FACULDADE DE
CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS

REVISTA DE CIÊNCIA & TECNOLOGIA

A revista tecnológica da UNIG

Direitos exclusivos para esta edição:

Universidade Iguazu – UNIG

Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas

Nova Iguaçu, RJ

Os artigos desta revista são de responsabilidade exclusiva dos autores. É permitida a reprodução total ou parcial dos artigos nela publicados, desde que seja citada a fonte.

Impresso no Brasil

Supervisor Editorial

Cláudio Márcio Nascimento Abreu Pereira

Corpo Editorial

Antônio Carlos de Abreu Mol, CNEN

Antônio Carlos Freire Sampaio, UNIG

Antônio Filipe Falcão Montalvão, UNIG

Cláudio Márcio Nascimento Abreu Pereira, UNIG

Denise Salim Santos, UNIG

Isaias Gonzaga de Oliveira, UNIG

Paulo Fernando Neves, UFRJ

**REVISTA DE CIÊNCIA & TECNOLOGIA / Universidade Iguazu, v5 n°1 (Dez-2005)
Nova Iguaçu - Rio de Janeiro: Gráfica Universitária, 2005.**

Semestral

ISSN 1519-8022

1. Ciências Exatas e Tecnológicas – Periódicos. I. Universidade Iguazu

REVISTA DE CIÊNCIA & TECNOLOGIA

A revista tecnológica da UNIG

Objetivo e Escopo

REVISTA DE CIÊNCIA & TECNOLOGIA é uma publicação de distribuição gratuita, editada semestralmente pela Universidade Iguazu, com o objetivo de divulgar *trabalhos científicos inéditos e artigos de revisão*, cobrindo os diversos temas na área de Ciências Exatas e Tecnológicas.

Informações para submissão de artigos

Os interessados em submeter artigos para publicação deverão enviá-los ao endereço abaixo, em duas cópias, impressas em papel formato A4 (impresso somente de um lado da folha), coluna única, com espaçamento simples e letra Times New Roman tamanho 12, acompanhadas dos respectivos arquivos eletrônicos (e-mail ou em disquete de 3^{1/4}), PC/Compatível, contendo o texto editado em Microsoft Word, as figuras e tabelas necessárias. Com o intuito de agilizar a edição, recomenda-se que as figuras e tabelas sejam embutidas no texto já em suas respectivas posições. A primeira folha deve conter o *título do trabalho*, *nomes* e *endereços* completos dos autores e um *resumo* de, no máximo, 250 palavras. O corpo do trabalho deve ser subdividido em seções numeradas com algarismos arábicos. As referências devem ser numeradas em ordem de citação no corpo do texto. O artigo completo não deve exceder 15 páginas, incluindo figuras e tabelas.

Revisão dos artigos

Todos os artigos serão revisados por especialistas, membros do corpo editorial, ou, caso haja necessidade, revisores externos serão convidados. Neste caso, os nomes de tais revisores serão informados nos respectivos exemplares. No caso da aceitação do artigo estar condicionada às considerações feitas pelos revisores, estas serão repassadas ao autor para que o próprio faça as devidas modificações no artigo, reenviando-o para o corpo editorial. Após aceitação ou não do trabalho, os autores serão notificados. O material enviado para revisão não será, em hipótese alguma, retornado ao autor.

Endereço para submissão de artigos

Os artigos devem ser submetidos para:

Cláudio M. N. A. Pereira

UNIVERSIDADE IGUAÇU
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas - FaCET,
Assessoria de Pesquisa
Av. Abílio Augusto Távora 2134, Nova Iguaçu, RJ
E-mail: facet@unig.br

Chanceler

Dr. Fábio Raunheitti

Presidente da Mantenedora

Prof. Sylvio Jorge de Oliveira Shad

Reitor

Dr. Júlio César da Silva

Pró-Reitor Administrativo

Dr. João Batista Barreto Lubanco

Pró-Reitor de Ensino e Graduação

Dr. Carlos Henrique de Melo Reis

Pró-Reitor de Pesquisa e Extensão

Prof. Antônio Carlos Carreira Freitas

Secretário Geral

Hélcio Magalhães Barros

Diretor da Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas

Oswaldo Parente Gomez

Coordenador do Curso de Sistemas de Informação

Prof. Vânia Vieira Fernandes Muniz

Coordenador do Curso de Engenharia da Computação

Prof. Oswaldo Parente Gomez

Coordenador do Curso de Engenharia de Produção

Prof. Fernando Medina

Coordenador do Curso de Licenciatura em Computação

Prof. Vânia Vieira Fernandes Muniz

Coordenador do Curso de Matemática

Prof.^a Maria Teresa Teixeira Ávila

Assessor de Extensão da Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas

Prof. Luis Carlos da Silva

Assessor de Pesquisa da Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas

Prof. Cláudio Márcio do Nascimento Abreu Pereira



Universidade Iguaçu

Av. Abílio Augusto Távora, 2134 – CEP 26.260-000

Nova Iguaçu – RJ – Brasil – Tel.: 2666-2001

www.unig.br

Sumário

Editorial.....	1
<i>Oswaldo Parente Gomez</i>	
Regulação Econômica nas Indústrias de Rede de Distribuição de Gás Canalizado.....	2
<i>Francisco Antônio Caldas de Andrade Pinto</i>	
Modelo Mecânico-Matemático para o Cálculo das Compressões Intra-Discais Lombares	13
<i>Oswaldo Parente Gomez</i>	
Stabilizing the Output of Linear Multivariable Regular Descriptor Systems.....	19
<i>Geraldo Motta Azevedo Júnior</i>	
Um Algoritmo Genético Paralelo utilizando Biblioteca MPI e sua Aplicação em um Problema da Engenharia Nuclear	28
<i>Marcel Waintraub, Rafael P. Baptista, Roberto Schirru e Cláudio Márcio Nascimento Abreu Pereira</i>	

Editorial

Ao assumirmos a direção da Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas, em setembro de 2005, o número 1 do volume 5 da Revista Ciência e Tecnologia já se encontrava com seus artigos praticamente definidos, nossa atuação foi de apenas fornecer a infra-estrutura necessária à publicação da revista.

Enquanto assessor de ensino desta unidade, sempre acompanhamos o esforço do Prof^o Cláudio Márcio do Nascimento Abreu Pereira, editor da Revista, para que esta apresentasse um nível de excelência. Pela sua perseverança, fica aqui registrado o nosso muito obrigado.

Prof^o. Osvaldo Parente Gomez

Regulação Econômica nas Indústrias de Rede de Distribuição de Gás Canalizado

Francisco Antônio Caldas de Andrade Pinto

*Universidade Iguaçu – UNIG – FaCET – RJ
Av. Abílio Augusto Távora, 2134, Centro, Nova Iguaçu, RJ, Brasil,
frapinto@ig.com.br*

Resumo

Este artigo apresenta uma compreensão melhor de uma nova função econômica do Estado e de sua influência no desenvolvimento da infra-estrutura e, em específico, na distribuição de gás canalizado, como um exemplo de indústria de rede. Procura apresentar dados e fatos que tenham contribuído para a formação da função do Estado, suas mudanças e a política regulatória econômica com o enfoque na criação de diretrizes com vistas aos investimentos no setor, em paralelo à decadência dos recursos advindos do próprio Estado. Enfoca como o novo Estado tenta promover uma associação entre o público e o privado, através da modalidade de concessão, como uma alternativa para assegurar os investimentos necessários para o setor de infra-estrutura e de gás canalizado em particular, onde a experiência internacional é um útil exemplo para o modelo brasileiro. Por fim, esse trabalho procura investigar as concessões do gás em áreas da CEG e da CEG RIO no Estado do Rio de Janeiro, a partir de um enfoque econômico. A conclusão principal deste trabalho é que o Estado, como reestruturador de sua presença no setor do gás, ao executar a concessão deste modal, pode atrair os investimentos que são responsáveis pelas concessionárias e que melhorariam a universalização dos serviços de distribuição.

Palavras chave : regulação econômica, indústrias de rede, concessões de serviços públicos, distribuição de gás canalizado

1. Introdução

A relação histórica da presença do Estado nos serviços públicos, ao contrário do contexto histórico-evolutivo, foi fundamentada em um conceito de essencialidade dos serviços públicos, o que acabou por justificar durante décadas a presença do Estado nessa atividade econômica. É, pois, nesse contexto que, fundamentalmente, a incapacidade financeira de assumir os diversos matizes econômicos de uma sociedade, em contraponto às suas

necessidades sociais, direciona o Estado para recuar da intervenção e caminhar a passos largos para a regulação, assumindo um caráter mais de organizador que de gestor. O estudo, portanto, da regulação econômica (ou certamente na maior abrangência que a regulação deva ter) pretende trazer ao debate a discussão do papel do Estado como mediador econômico, em um mercado onde as forças da concorrência plena são por vezes insuficientes para o equilíbrio entre as necessidades da Concessionária, do Poder Concedente (Estado

Concedente) e do Consumidor usuário dos serviços. A regulação, assim como a concorrência, é uma formulação de atuação e regras de incentivo à eficiência alocativa e produtiva da teoria econômica clássica.

Portanto, o Estado do Rio de Janeiro, como poder concedente dos serviços públicos de distribuição de gás canalizado, resolveu assumir seu novo papel como regulador e deixar para exploração da iniciativa privada, através de concessões, o papel de investidor na infra-estrutura e na qualificação do serviço de distribuição de gás canalizado. Neste momento, a função de regulação é incorporada à agência reguladora do Estado a ASEP-RJ - Agência Estadual dos Serviços Públicos Concedidos (Lei Estadual n.º 2.686/97), com o objetivo de garantir os seguintes princípios fundamentais :

- prestação, pelos concessionários, de serviço adequado ao pleno atendimento dos usuários, tanto qualitativa quanto quantitativamente;
- a existência de regras claras, inclusive sob o ponto de vista tarifário, com vistas à manutenção do equilíbrio econômico-financeiro dos contratos;
- estabilidade nas relações envolvendo o poder concedente, concessionários e a usuários, no interesse de todas as partes envolvidas, cujas principais funções são melhor sintetizadas na figura 1:

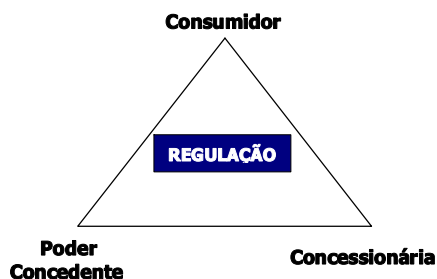


Figura 1 - Atuação da Agência Reguladora

2. A Regulação Econômica

A teoria clássica da regulação econômica assenta-se no funcionamento e controle de determinados setores econômicos inscritos no conceito de essencialidade. Para uma melhor abordagem do conceito econômico, o axioma fundamental do bem-estar social afirma que, ao existir um número suficiente de mercados e se todos os consumidores e produtores se comportam competitivamente e se existir um equilíbrio nesta relação, então a alocação de recursos no equilíbrio é ótima no sentido de Pareto. Em qualquer relação produtor-consumidor, o que se busca é a maximização do bem-estar social, sendo esta alcançada através da otimização dos excedentes do produtor e consumidor. Diz-se que essa situação é obtida quando se torna impossível aumentar o bem-estar de um indivíduo sem piorar a situação de qualquer outro. Em termos mais gerais, a análise do bem-estar busca definir sob que condições a busca do auto-interesse nas relações econômicas conduz ao bem coletivo e dentro de que condições isso não acontece [LINH 01].

Em síntese, na análise econômica de gestão do processo produtivo são utilizados basicamente três conceitos de eficiência: a produtiva, a distributiva e a alocativa. O conceito de eficiência produtiva está relacionado à utilização, com máximo rendimento e mínimo custo, da planta produtiva instalada, ou seja, o aproveitamento ótimo de produção dos recursos. Eficiência ou justiça distributiva se refere à capacidade de redução, por meio da concorrência ou de outro dispositivo, de rendas de monopólio ou outros ganhos temporários por parte dos agentes individuais. A eficiência alocativa, por sua vez, é a situação na qual se realiza o maior volume de transações econômicas, gerando maior renda agregada possível. É, pois, a adequada combinação de produtos finais, gerados no sentido de que se otimizem simultaneamente as satisfações às

necessidades de consumo e as exigências do processo de acumulação da sociedade.

A competição, portanto, entre os agentes de produção e de demanda é sempre mais interessante, pois implica menores preços aos consumidores e otimiza a alocação dos recursos, em alguns casos especiais. Todavia, pode-se entender algum nível de justificativa para a presença de monopólios, onde os casos específicos de monopólios naturais são a melhor expressão dessa justificativa.

Embora os monopólios levantem barreiras à entrada de competidores e restrinjam a produção, eles possuem pontos favoráveis decorrentes do poder que concentram. É o caso dos chamados monopólios naturais, ou seja, mercados onde a produção de um bem ou de um serviço qualquer, por um único agente, *minimize* custos. Esses mercados, invariavelmente associados ao conceito de serviços públicos, normalmente em exploração de ambientes assentados em infraestrutura de rede onde os investimentos são intensivos em capital que geram impactos na economia, tendem normalmente a requerer longos períodos de maturação e cuja intrínseca visibilidade é tão alta, que as políticas públicas corretivas de suas ações podem ser adotadas com a especificidade requerida para discriminar preços e tarifas e monitorar as condições de volume e de oferta [ROSS 02]. É, pois, nesse contexto que, uma vez sendo “natural” essa estrutura de monopólio, faz-se necessária a presença da regulação dita econômica, segundo a teoria acadêmica.

O fundamento de tal derivação é o fato de que empresas monopolistas, por exemplo, que atuam em mercados, cujas características técnicas de produção induzem e recomendam a concentração da oferta, como no caso dos serviços de distribuição de gás canalizado, necessitam que a autoridade pública lhe imponha marcos ou limites de atuação que garantam a compatibilização dos objetivos de retorno econômico dos investimentos

realizados, com a satisfação dos interesses de seus clientes.

A hipótese fundamental da teoria de interesse público [GOME 01], sugere que a regulação econômica acaba por ser produzida por pressões públicas de modo a corrigir distorções que não podem ser eliminadas pelas forças livres de mercado. Assim, a intervenção do Estado na economia, mediante aparato regulatório, tende a corrigir estas distorções assegurando de melhor sorte o bem comum, administrando as ineficiências da relação oferta e demanda. Esses movimentos por sua parte, foram fundamentados na defesa do “interesse público”. Um possível risco de abuso monopolista foi o motivo que levou os EUA a regular os chamados “Public Utilities”, formando o aparato legal de justificativa desta hipótese, sendo entendida como a resposta adequada, dada a impossibilidade de garantir a concorrência perfeita em ambientes de monopólio natural.

Tabela 1 – Regulação Econômica - Objetivos Principais (Fonte : [PINT 04])

1	Buscar a eficiência econômica, garantindo a melhor relação entre o Usuário dos Serviços, o Agente econômico regulado e o Poder Concedente.
2	Evitar o abuso de poder de monopólio, assegurando a menor diferença possível entre preços e custos, de forma compatível com os níveis desejáveis da qualidade do serviço.
3	Assegurar a universalização do serviço.
4	Garantir a manutenção do equilíbrio econômico-financeiro da concessão.
5	Garantir indiscriminadamente o livre acesso às redes de transporte e distribuição (indústrias de infra-estrutura em rede).
6	Estabelecer canais para atender as reclamações dos usuários ou consumidores sobre a prestação dos serviços.
7	Estimular a inovação e a tecnologia, (identificar oportunidades de novos serviços, remover obstáculos e promover políticas de incentivos à inovação).
8	Assegurar a padronização tecnológica e a compatibilidade entre equipamentos.
9	Garantir a segurança e adequar-se às políticas vigentes de meio ambiente.

Os princípios básicos que nortearam as iniciativas no campo da regulação econômica até os anos setenta fundamentaram-se na análise tradicional do bem-estar, e é a partir desta teoria que se tornou efetivamente possível para a ciência econômica formalizar a intervenção do Estado na economia através da regulação econômica, como uma adaptação (em condições monopolísticas) ao liberalismo clássico.

Colocado dessa forma o papel da regulação pública, fica claro que os agentes encarregados dessa tarefa deverão estar permanentemente acompanhando o desempenho das empresas sob sua regulação, tendo em perspectiva os respectivos contratos de concessão, a legislação aplicável, a evolução das forças em atuação no respectivo mercado e as melhores referências em matéria de conhecimento científico e tecnológico surgidas nos mais diferentes campos.

A regulação econômica tem como foco principal assegurar que o monopolista tenha condições de implantar metas de ampliação de redes e universalização do serviço. Em outras palavras, abre-se mão, em nome da eficiência econômica de mercado, pela eficiência regulada por órgãos públicos. O principal objetivo da regulação econômica é reproduzir as condições dos mercados, pois, competitivos e seus efeitos sobre as decisões e o desempenho financeiro das empresas reguladas [CSPE 03], uma vez que estas podem estar operando em condições de monopólio natural.

A regulação em seu aspecto mais abrangente e a regulação econômica em particular podem ser definidas como um conjunto leis, ações e controles administrativos que se originam do Estado e afetam o funcionamento dos mercados, interferindo, deste modo, na eficiência interna e alocativa das empresas e de setores da economia. A regulação acaba por ser necessária para suprir os diferentes tipos de deficiências na operação dos mercados.

3. Indústrias de Rede e Regulação na Distribuição de Gás Canalizado

A indústria de infra-estrutura é muitas vezes caracterizada pela necessidade de existência de sistemas de redes para prover adequadamente a distribuição dos serviços. Em geral cadeias de transporte e distribuição são normalmente assentadas em estruturas físicas de rede, caracterizando uma presença intensiva de ativos físicos de distribuição de grande abrangência e complexa operação. Como exemplos típicos dessa indústria, podem-se citar a distribuição através de canalização, cabeamento ou via segregada, de água, energia elétrica, telecomunicações, gás natural, transporte ferroviário, transporte rodoviário, etc. Essas estruturas de redes apresentam características fundamentais, presentes em maior ou menor grau, dependendo do tipo de indústria considerada e da forma de sua organização.

O serviço de distribuição de **gás natural canalizado**, juntamente com os serviços de água, comunicação, energia, transportes, dentre outros, está inserido em um conjunto maior, denominado indústria de infra-estrutura econômica. Tais serviços, diferentemente daqueles de infra-estrutura social, além de satisfazerem às demandas individuais, respondem também às necessidades das empresas em matéria de bens intermediários ou insumos de produção. A razão de analisar esta indústria de forma geral, são as características que a distinguem de forma significativa dos demais setores econômicos e que, admitindo o conceito de essencialidade já abordado no primeiro capítulo, justificou muitas vezes no passado a intervenção direta do Estado, constituindo empresas estatais, ou mais recentemente, preferencialmente indireta, regulando suas atividades. Nesse último caso, em geral, a exploração desses serviços pelo setor privado

se dá com base em contratos de concessão¹, os quais estabelecem todas as regras, direitos e obrigações a que estão sujeitos os agentes envolvidos: concessionário, poder concedente e usuários dos serviços.

Para melhor ilustração [LINH 01], algumas das principais características das Indústrias de rede de distribuição de gás canalizado podem assim ser classificadas :

a) ativos intensivos em capital: é normalmente requerida a necessidade de grande volume de investimentos com longo prazo de maturação, uma vez que se trata de indústrias com uso intenso de investimento de capital. De acordo com alguns autores, é possível o emprego de investimentos de capital de até quatro vezes o valor da receita anual da Concessionária², diferentemente de outras indústrias onde a relação receita versus investimento pode se igualar ou mesmo ser menor que o faturamento anual. Tal necessidade de capital deriva do efeito cumulativo das características econômicas das redes e do fato de seus ativos não poderem ser fracionados, ou seja, se não forem construídos como um todo, deixam de ser eficientes, freqüentemente tornando-se desperdício de recursos.

b) alto custo fixo inicial (“Startup”): devido ao grande volume de investimentos citados no item anterior, inicialmente tem-se alto custo

fixo de capital. Entretanto, depois de cumprido o prazo de maturação do investimento, o custo fixo tende a cair, restando somente os custos referentes ao fornecimento do serviço e à exploração/operação da rede em si. Conseqüentemente, menor será o custo marginal de produção, ou seja, o custo adicional de fornecimento de mais um metro cúbico de gás a um cliente individual. No entanto, cabe ressaltar, que a redução constante dos ciclos tecnológicos tem contribuído fortemente para pressionar o aumento dos custos de operação da **distribuição de gás canalizado**. A incorporação de tecnologia “em tempo real” tem requerido desembolsos constantes em treinamento, atualização e substituição.

c) instalações normalmente superdimensionadas: em geral, sistemas capilares de rede de **distribuição de gás canalizado** são originalmente dimensionados pelas maiores estimativas de demanda futuras, ou seja, picos sazonais anuais, mensais ou horo-sazonais, e devem ser capazes de responder, simultaneamente, às fortes oscilações dos fluxos de demanda, fluxos estes, nem sempre previsíveis quanto ao crescimento sustentado e de longo prazo em relação a essa mesma demanda. Em outras palavras, as redes devem ser projetadas de forma a facilitar sua ampliação e manutenção (prever contingências aleatórias que possam resultar em panes do sistema) e ainda ter sua oferta expandida em etapas bem definidas e escalonadas no tempo. É, pois, desta maneira que em redes mais recentes as instalações são superdimensionadas em relação à demanda média no presente, o que, por vezes, dificulta a alocação no preço cobrado pelo serviço do custo dos investimentos realizados. Adicionalmente ao exposto, a análise de simultaneidade aponta para um fator de diversidade onde a necessidade da capacidade individual dos segmentos para atender a

¹ Por ocasião desse trabalho, já tinham sido concessionadas no Brasil, além da Companhia Distribuidora de Gás do Rio de Janeiro (CEG) e a CEG-RIO, que foram concessionadas (privatizadas) em julho de 1997, a COMGÁS em Abril de 1999, Gás Brasileiro em novembro de 1999 e GásNatural Sul em Maio de 2000. Maiores detalhes ver [CARD 01]. As demais distribuidoras brasileiras continuam operadas majoritariamente pelo Estado, algumas com participação de capital privado. Ver [CATAR 02] pp. 69.

² Também por ocasião deste trabalho, a CEG e a CEG RIO apresentaram à Agência Reguladora – ASEP, por ocasião da revisão tarifária, seus planos de investimento em expansão para o quinquênio 2003-2007, totalizando um montante de aproximadamente 3,5 vezes o Patrimônio Líquido das Concessionárias.

demandas de picos locais considera que as demandas de pico, no caso do atendimento a diversos segmentos, não serão a soma simples das demandas de pico individuais de cada um dos segmentos, mas do conjunto dos segmentos atendidos. Sabendo-se que cada segmento apresenta características de demanda distintas, é improvável que os picos das demandas individuais coincidam no espaço e no tempo.

d) presença de custos irrecuperáveis: são conhecidos como “*sunk costs*” ou custos afundados. Normalmente os equipamentos, em vista das características específicas para atendimento a redes de distribuição, demandam altos investimentos e abrangem especificidades de atuação com baixa utilidade em outras áreas de infra-estrutura de atuação. O que se deseja afirmar, do ponto de vista da Concessionária, é que vários equipamentos e tecnologias envolvidas na operação e expansão da rede de **distribuição de gás canalizado** não são normalmente aproveitados em outras áreas ou atividades devido à sua especificidade, incorporando na essência mais custo agregado.

e) economias de escala : em geral, em monopólios naturais intensivos como nos de infra-estrutura de distribuição de gás canalizado, é interessante a regulação econômica observar que se pode justificar a presença uma só empresa devido à preponderância das economias de escala (redução de custo unitário resultante do aumento da produção e desta forma melhor repassado ao consumidor), ou seja, quanto maior a produção, menor o custo unitário da mercadoria produzida. Neste caso, ocorre elevada “escala mínima de eficiência” que, no caso extremo, é superior ou igual à totalidade do mercado.

f) economias de escopo : são as economias que aparecem a partir da redução de custos no

fornecimento de diversos serviços ou produtos (redução de custo que ocorre quando se produzem diversos produtos: o custo é menor ao se produzir uma combinação de produtos dentro do mesmo parque de infra-estrutura, do que fazê-lo em plantas separadas). Para o caso do serviço de distribuição de Gás Natural da CEG, poder-se-ia dizer que um serviço, ou produto, seria fornecer gás a baixa pressão para uso residencial e outro produto seria fornecer o mesmo gás, porém com pressões mais elevadas, para uso industrial. Ambos os serviços compartilham de custos comuns e conjuntos, tais como os de investimento, operação, manutenção etc., obtendo-se sempre melhor otimização dos custos ao prover os dois serviços conjuntamente. Em outras palavras, é sempre desejável o regulador observar que o estímulo à padronização e não à “individualização” do atendimento dos consumidores estará ensejando a Concessionária a reduzir e melhor distribuir custos.

g) alternativas de roteamento: as grandes redes de distribuição possibilitam rotas alternativas na entrega do produto (oferta) ampliando a garantia, confiabilidade e a continuidade do fornecimento, pois, numa eventual restrição à passagem em determinado ponto da rede, o atendimento poderá ser feito por outra rota.

h) prestação de Serviços correlatos : em geral, a abrangência das redes e a respectiva incorporação dos avanços tecnológicos permitem à Concessionária oferecer serviços adicionais e complementares aos de **distribuição de gás canalizado**, utilizando o parque de infra-estrutura instalado, cujas tubulações subterrâneas de gás podem ser acompanhadas de dutos menores para transmissão, através de cabos de fibras-ópticas utilizados para a operação remota da rede de gás, ou mesmo, se assim o contrato o permitir, para o oferecimento de serviços correlatos

que, com suas receitas, possam contribuir para a modicidade tarifária na transmissão de outras informações, dados, sinais de TV, acesso à Internet, etc.

i) geração de externalidades: as indústrias de redes tendem a gerar significativos efeitos externos à sua área de atuação através de efeitos derivados da produção que não são considerados na função de produção e que podem afetar positiva ou negativamente outros agentes econômicos ou a comunidade. Como exemplo de externalidade positiva, temos o desenvolvimento econômico de determinada região, com a expansão da distribuição de gás canalizado nos municípios da área de atuação da CEG RIO onde inexistia essa atividade; como exemplos de externalidades negativas temos os impactos ambientais gerados na implantação e na operação das redes ou das obras da CEG com impacto no tráfego das vias públicas.

4. Equilíbrio Econômico e Financeiro

Em geral, os contratos de concessão de infraestrutura de serviços públicos procuram sempre observar um preceito mínimo de natureza econômica que habilite manter o equilíbrio das partes (Concessionária, Consumidor e Poder Concedente) a partir da definição de Equilíbrio Econômico-Financeiro.

Do ponto de vista das concessionárias, tal definição, contudo, não tem sido comumente de fácil abordagem, uma vez que os contratos não necessariamente versam em completude sobre todos os arranjos de natureza econômica ou financeira que possam não comprometer essa equação. Em síntese, a definição clara do que se entende por Equilíbrio Econômico e Financeiro em uma concessão pode variar de acordo com as interpretações contratuais e do regulador em si.

Consideremos, em teoria, o capital do empreendimento de concessão, com natureza homogênea e desassociado de riscos, o que caracteriza uma situação mais próxima da teoria econômica simples e, em uma análise adicional, o capital com participação de empreendedores, e de terceiros, adicionalmente à presença dos riscos envolvidos.

O indicador equivalente do Equilíbrio Econômico-Financeiro de uma Concessionária regulada pelo regime de custo e considerando a ausência de risco pode ser dado pela comparação entre a taxa interna de retorno (TIR) e o custo de capital do projeto [MEND 01]. Embora projetos de concessões normalmente possuam características com fluxos de caixa com inversão de sinal, o que demandaria análises de mais de uma taxa interna de retorno para o projeto, a equação formulada pela taxa interna de retorno (TIR) é a que melhor espelha, nesse caso, um equilíbrio econômico-financeiro pactuado no início da concessão, e supostamente sua variação ou desvio, o montante em que pode ser incorrido um desequilíbrio econômico-financeiro no Contrato de Concessão, é melhor expresso na eq.(1).

$$\sum_{t=1}^n \frac{rec_t - desp_t}{(1 + TIR)^t} \geq 0 \quad (1)$$

Onde rec_t é a receita de caixa total do negócio de concessão no período t e a $desp_t$, o total de despesas de caixa no período t .

O que, entretanto ocorre, é que o custo de capital de um projeto em geral não é homogêneo, ou seja, é composto por diferentes fontes de financiamento, que acabam por requerer diferentes remunerações, uma vez que os mercados financeiros, em comum, oferecem crédito com diferentes taxas para diferentes tomadores. Efetivamente, o que responde pela

heterogeneidade do tratamento na remuneração do capital é o componente na diferenciação do risco do empreendimento ou da concessão propriamente dita. Os empreendimentos não são seguros em absoluto, possuem sempre uma incerteza intrínseca de que seus resultados possam ficar abaixo (ou mesmo acima) do estimado. Usualmente o que se deseja do ponto de vista do investidor é a redução da incerteza para maior previsibilidade, uma vez que as incertezas (e portanto o risco) são maiores. Somente uma remuneração maior pode atrair o investidor para participação. Há, pois, duas fontes básicas de financiamento das empresas: (i) o capital próprio, proveniente da subscrição de cotas de capital, da emissão de ações ou de retenção de lucros e (ii) o capital de terceiros, proveniente do endividamento mediante a tomada de empréstimos. O custo de capital deve refletir o custo de oportunidade de todas as fontes de capital para a empresa, considerando sua contribuição relativa para o total.

Em um momento em que no Brasil, se discutem formas de ampliar o investimento privado em infra-estrutura, modernizando o parque vigente e retomando melhores níveis emprego, pode-se indagar em seqüência, quais seriam as melhores formas de remunerar o capital para atrair o potencial investidor a “abrir mão” de sua liquidez financeira e aceitar o risco de um ativo de concessão.

5. Metodologias de Definição de Equilíbrio Econômico e Financeiro

Modelos mais recentes, que conjugam investimentos próprios e de terceiros, procuram sintetizar em uma expressão o binômio *risco-retorno*, ou seja, quanto maior o risco, maior deve ser o retorno exigido.

Dentre os modelos usualmente empregados, o contrato da CEG e da CEG RIO, a partir do segundo período de revisão

tarifária, utiliza o *Modelo de Precificação de Ativos de Capital* (CAPM), que procura expressar a taxa de retorno exigida pelo investidor, como a *taxa livre de risco*, adicionada a um *prêmio pelo risco assumido*, o que, em outras palavras, é respectivamente função de uma taxa comumente mensurada sobre uma letra do tesouro e o prêmio para compensar o risco adicional assumido, dado pela correlação entre os retornos do mercado onde a concessão se situa, (mercado de gás no caso da CEG) e do mercado em geral (BOVESPA). Essa análise deve refletir também a correlação entre a empresa Concessionária analisada e o mercado respectivo.

Entretanto as modelagens econômicas que redundaram nos contratos da maior parte das concessões da área de energia admitem ainda o incremento de uma parcela de risco adicional que reflita o interesse de capitais internacionais em investirem no Brasil.

A adição do *prêmio de risco país*, o risco Brasil, pode ser estimado pelo diferença de retorno sobre os títulos do tesouro americano e dos papéis da dívida brasileira negociados no exterior, (*C-Bond*). Os parâmetros somados refletem o custo de oportunidade de investir no Brasil, estimado pelo retorno de um título de dívida externa brasileira de médio prazo. O preço de um título desse tipo será equivalente ao preço de investir em um país com risco de crédito baixo, como os EUA.

Os riscos acima citados, expressos pelo modelo de remuneração do capital, em síntese procuram cobrir a situação do investidor em concessões de infra-estrutura em um país como o Brasil. O que se deseja enunciar é que quaisquer incertezas no macro-ambiente institucional brasileiro, tais como aumento na taxa de juros, indefinições no arcabouço regulatório, alterações constante das regras pactuadas, incertezas políticas, entre outras, geram um instantâneo reflexo nos parâmetros acima citados, valorando de imediato o

retorno e a percepção de investir. Se o ambiente institucional se deteriora a partir, por exemplo, de uma quebra contratual, o custo de investir no Brasil fica sensivelmente elevado de acordo com a valoração nas taxas que o mercado precificar.

Nestas condições, a eq. 1 citada deveria contemplar a presença do risco e a real estrutura do capital. Se refletirmos portanto duas únicas fontes de financiamento da concessão (capital próprio e capital de terceiros) e levando em conta que o custo de oportunidade das duas fontes de capitais são diferentes. O Equilíbrio Econômico-Financeiro ocorrerá, em uma visão prospectiva, quando o valor presente dos fluxos de caixa que cabem aos acionistas e aos terceiros, descontadas, as taxas correspondentes aos custos de capital dos acionistas e de terceiros, respectivamente, for sempre positivo [MEND 01].

Complementarmente, abordagens lastreadas em metodologias tais como CAPM, DCF (Fluxo de Caixa Descontado) e WACC (Custo Médio Ponderado de Capital), são a expressão representativa de modelos financeiros que asseguram uma rentabilidade capaz de cobrir os custos operacionais da Concessionária e remunerar o capital à taxa de custo de oportunidade do capital investido caracterizando, com mais precisão, o conceito de equilíbrio econômico e financeiro.

De acordo com o exposto, o modelo DCF se baseia no estabelecimento de tarifas iniciais que tornem o valor presente das receitas suficiente para assegurar uma rentabilidade capaz de cobrir os custos operacionais da empresa privatizada e remunerar o capital investido à taxa do custo de oportunidade do capital investido – WACC.

Considera-se que o conceito de equilíbrio econômico-financeiro, de uma forma geral, deve atender aos seguintes critérios:

- consistência com os objetivos da regulação por incentivos (e.g. *price cap*) –

ou seja, o conceito utilizado deve induzir a operadora concessionária a obter ganhos de eficiência;

- facilidade computacional – a aplicação do conceito deve ser pouco complexa e facilmente replicável;
- transparência operacional – o conceito deve ser aplicável de forma clara para todas as partes envolvidas (o Poder Concedente, a Agência Regulatória, os Consumidores e as Empresas Concessionárias);
- robustez e estabilidade – o conceito a ser utilizado deve produzir valores consistentes mesmo se adotadas diferentes métricas para seus elementos de entrada, os seja, os resultados não devem oscilar bruscamente em decorrência de alterações de cenários.

O modelo de equilíbrio, portanto, deve simplificarmente atribuir à tarifa da Concessionária a responsabilidade de remunerar os custos, os Investimentos e a remuneração do capital acrescido do risco do negócio.

7. Conclusões

Durante todo o processo histórico que definiu a presença do Estado na economia, as experiências positivas ou negativas somam-se para viabilizar a evolução do discernimento e compreensão dos fatores que levam ao fracasso ou ao sucesso das ações empreendidas pelo Estado. Isto serve como parâmetro para que sejam repensados os novos rumos a serem tomados para direcionar o desenvolvimento e garantir a manutenção do bem-estar social através de um crescimento sustentável em cada setor da atividade pública. É patente o esgotamento dos recursos e a incapacidade do Estado em investir e gerenciar a manutenção de todo o parque de infra-estrutura. O contexto brasileiro, regional

e mundial, exige mudanças de postura em relação ao papel do Estado em face da escassez de recursos. A sociedade é obrigada a arcar com uma política tributária onerosa para financiar déficit fiscal do Estado-Agente em detrimento do Estado-Regulador. As concessões de serviços públicos de infraestrutura não constituem necessariamente uma resposta definitiva ao problema da manutenção e ampliação de toda a rede de infra-estrutura, mas, se bem equacionadas, podem contribuir para melhor direcionar a relação entre o Estado e a sociedade, e para que essa opção torne-se viável, é necessário que o Estado aperfeiçoe a sua capacidade de gestão atuando como regulador e não como agente principal.

No caso das concessões de infra-estrutura à iniciativa privada, e destas, as afetas à distribuição de gás canalizado, observando a recente experiência brasileira e a experiência internacional e sobretudo o caso da CEG e da CEG RIO, é possível elaborar as seguintes recomendações no que tange à ação do poder concedente e do ente Regulador:

- que o ente regulador ofereça sempre a garantia institucional da manutenção dos contratos com dispositivos que assegurem a sua execução;
- seriam bem apreciadas as intermediações do ente regulador e do Poder Concedente junto aos agentes financiadores de fomento, oferecendo garantia institucional adicional, para que os riscos do empreendimento sejam minimizados e repartidos na captação de recursos de terceiros e assim reduzam o ônus financeiro;
- manter sempre organizado, dimensionado e mapeado o nível de universalização desejado através dos investimentos a serem realizados, fazendo a análise das necessidades de obras e melhorias, com um planejamento condizente com o setor de energia e distribuição de gás canalizado,

diminuindo assim o impacto dos custos referente às incertezas regulatórias;

- avaliar previamente o impacto econômico e social em todos os segmentos de consumidores de gás canalizado no mercado a ser ampliado, buscando um programa que atenda aos interesses coletivos, evitando confrontos jurídicos e pressões generalizadas por parte da sociedade usuária que induzam o ente regulador a tomar decisões posteriores afetando o equilíbrio econômico-financeiro dos contratos e que possam inviabilizar a concessão e, conseqüentemente, acarretar prejuízos de toda ordem;
- realizar estudos para reduzir os custos de administração, operação e exploração da concessão e buscar implementar novas ações nesse sentido;
- atualizar estudos diretores de energia no âmbito de competência diminuindo as incertezas futuras de encaminhamento das necessidades de universalização entendidas pelo Estado e implantadas pela Concessionária;
- estabelecer uma transparência nas ações praticadas pelo Poder Público para o perfeito entendimento e credibilidade entre todas as partes envolvidas, ou seja, poder concedente (governo), concessionários, usuários das infra-estruturas outros agentes indiretos que integram a concessão.

Este artigo procurou abordar em linha gerais, uma visão da regulação econômica na distribuição de gás canalizado e nas concessões de infra-estrutura em geral. Enfocou a necessidade de regulação em condições de monopólio natural, abordando uma síntese sobre a formação do equilíbrio econômico e financeiro das concessionárias. Estas informações são interessantes para melhor compreender a presença do Estado no momento em que este assume um caráter mais de organizador que de gestor.

Referências

[CARD 01] – Cardoso A. S. – *Metodologias para Avaliação de Empresas : Avaliação de uma Companhia Distribuidora de Gás, Conforme o Método do Fluxo de Caixa Descontado*. Monografia (Pós Graduação em Engenharia Econômica e Financeira - UFF-Latec), Niterói, 2001.

[CATAR 02] – Catarina R. S., – *Regulação Econômica do Serviço de Distribuição de Gás Natural Canalizado*. Dissertação de Mestrado, UFSC, Florianópolis 2002, pp. 14-17., 69.

[CSPE 03] – _____. *Análise do Conceito de Equilíbrio Econômico-Financeiro* – FGV, EASP., Audiência Pública CSPE São Paulo, SP, 2003.

[GOME 01] – Gomes, J. C. M. – *Teoria da Regulação não Econômica*. MBA Regulação Defesa da Concorrência e Concessões, Apostila FGV, Rio de Janeiro, 2001.

[LINH 01] – Linhares, J. C. Rodrigues, A. J. P. – *A Economia da Regulação*. MBA Regulação Defesa da Concorrência e Concessões, Apostila FGV Management, Rio de Janeiro, 2001.

[MEND 01] – Mendonça L. C. N., Roberto B. J. – *Equilíbrio Econômico Financeiro em Concessões Rodoviárias sob a ótica das Concessionárias*. Monografia (Pós Graduação em Engenharia Econômico e Financeira-UFF, Niterói, 2001.

[PINT 04] – Pinto, Francisco A. C. A. – *Regulação Econômica na Distribuição de Gás Canalizado Sob a Ótica Da Concessionária O Caso da Ceg e da Ceg Rio*. Monografia, (Pós Graduação em Engenharia Econômico e Financeira-UFF-Latec), Niterói, 2004, pp., 19-20 .

Modelo Mecânico-Matemático para o Cálculo das Compressões Intra-Discas Lombares

Oswaldo Parente Gomez

*Universidade Iguazu - FaCET - RJ
Avenida Abílio Augusto Távora, 2134, Centro, Nova Iguaçu, RJ, Brasil,
osvaldop@unig2001.com.br*

Resumo

A prevalência e incidência de patologias observadas na coluna lombar têm apresentado índices altos, segundo a literatura especializada. A quantificação das compressões intradiscas pode ajudar a equacionar parte dos problemas relacionados à coluna lombar. Portanto, o presente artigo aborda uma nova perspectiva de se analisar mecanicamente as compressões dos discos intradiscas lombares, provocadas pela ação da gravidade, considerando que um desequilíbrio da coordenação origina uma compressão acima dos limites suportáveis, acarretando lombalgias, lordoses e cifoses.

Palavras chave: coluna vertebral, discos intervertebrais, força

1. Introdução

A questão das patologias que acometem a região lombar tem sido um tradicional enfoque das críticas dirigidas à má postura dos seres humanos e ao sedentarismo que ocasiona a flacidez da parede abdominal com o acúmulo de panículo adiposo, gerando desequilíbrio muscular. Estudos epidemiológicos concluíram que a postura sentada é o principal fator de risco para a D.L. Os estudos que visam diminuir os problemas que ocorrem na região lombar são de vital importância, uma vez que tais problemas são responsáveis por afastamentos frequentes dos operários de seu trabalho. Na população geral, a flexibilidade limitada do quadril e da coluna lombar pode predispor indivíduos ao desenvolvimento de lombalgia, um problema que afeta aproximadamente 80% das pessoas em alguma fase de sua vida e é a principal causa de falta ao trabalho.

Embora de uma forma geral a crítica se concentre nesses aspectos, não podemos esquecer que o grande inimigo da coluna vertebral é a atração gravitacional. Esta ação da gravidade sobre a coluna vertebral, e mais especificamente sobre a região lombar, objeto deste estudo, nos mostra, através de diferentes equações físicas e matemáticas, a ação específica sobre a vértebra, em cada um de seus componentes. Essas equações estudam a ação de todas as forças que atuam na coluna vertebral. Dependendo da posição das forças, elas podem provocar efeitos de torque estático, esforço cortante, momento fletor e momento torçor.

A análise das equações físicas e matemáticas que envolvem o problema em questão poderá servir como “feedback” fundamental no processo de reestruturação de novos estudos e descobertas. O grande número de trabalhos publicados nos últimos 50 anos evidencia a existência de

contribuições de grande inter e multidisciplinaridade, envolvendo áreas de ciências biológicas, ciências físicas e ciências humanas.

A contribuição deste trabalho para os profissionais e especialistas será, numa primeira instância, a identificação da realidade existente, segundo estudos já realizados. Assim sendo, através da análise comparativa das equações físicas e da relação entre elas, pretende-se estabelecer um “feedback” orientador para o surgimento de novas perspectivas de estudo. Se identificado como existente, tal processo, poderá servir como orientação para reformulações necessárias ao desenvolvimento de novas pesquisas e da práxis daqueles especialistas em direção à reformulação no seu dia-a-dia.

A preocupação com acontecimentos da coluna vertebral há muito tempo domina os especialistas da área. Deve-se considerar que um desequilíbrio da coordenação dá margem a uma importante ação da gravidade; a pessoa é suspensa por seus músculos e ligamentos, o que acarreta, além da lombalgia, lordose e cifose.

Referências oriundas da literatura têm, rotineiramente, enfatizado uma normal esparcidade de aprofundamento neste estudo por parte de especialistas. Uma conclusão óbvia e resultante desse fato é que tal esparcidade em atualização venha produzir poucas informações mais modernas ligadas ao estudo.

2. Metodologia

O presente estudo buscou o desenvolvimento de uma equação que possa avaliar a intensidade da força de compressão no 5º disco lombar.

Por se tratar de um estudo que tem por objetivo o desenvolvimento de um modelo para entendimento do Sistema Dinâmico das Forças principais envolvidas na compressão do 5º disco lombar (Lv5-Sv1), quando o

mesmo submetido a uma carga C qualquer, teremos que o Corpo de Hipóteses deverá ser norteado pelas projeções teóricas do comportamento tensorial da Força Resultante e suas componentes definidas nos planos de observação. Além disso, o entendimento teórico das equações derivadas do diagrama de forças e seus respectivos momentos, integradas a partir dos Modelos Dinâmicos, conforme as considerações que se seguem:

- O Sistema Corpo e Carga estão definidos no plano xyz ;
- Define-se como sendo o Corpo, um homem modelo, tendo a postura do corpo humano com o tronco em flexão de 90° ;
- Para todos os pontos do Sistema Corpo-Carga, definidos em xyz , para a coordenada z e suas derivadas primeira e segunda serão nulas ($= 0$);
- As derivadas primeira de x e y são igualmente nulas;
- O Sistema Corpo-Carga encontra-se em um equilíbrio mecânico, onde a aceleração do centro de massa do referido sistema é igual a zero e sua aceleração angular em torno de qualquer eixo fixo passando por xyz é também nula;
- As Forças definidas no Diagrama são:
 1. Força dos músculos, sendo a resultante advinda dos músculos lombares;
 2. Força do abdômen, sendo a resultante advinda da compressão dos músculos do abdômen;
 3. Peso do Corpo, correspondente à força peso da parte do corpo humano acima do disco Lv5-Sv1;
 4. Carga C , correspondendo à força peso da carga a ser levantada pelo homem modelo.
 5. Força no 5º disco, correspondente à força de compressão no 5º disco lombar, sendo sua localização na junção lombossacral.

3. Desenvolvimento do Modelo Teórico

Por definição temos que Momento de uma Força qualquer ou Torque, corresponde ao produto vetorial entre a Força resultante (F) e o braço de alavanca (r) que é a distância do

ponto de aplicação da Força até o eixo de rotação β , sob o qual o 5º disco lombar está definido.

$$Torque = F \times r = F.r.sen \theta \quad (1)$$

Descrição da Força	Braço de Alavanca em relação ao eixo β
Força dos músculos lombares = M	L1 = 5,0 cm
Força do Abdômen = No início das operações de levantamento manual de cargas, há no corpo humano uma compressão dos músculos do abdômen, favorável ao levantamento. A pressão interna oriunda desta compressão muscular é da ordem de 0,06 Kgf / cm ² . Considerando a área do abdômen igual a 465 cm ² teremos que : Força Abd = Pressão x Área A = 0,06 x 465 = 28 Kgf	L2 = 10,0 cm
Peso do Corpo = O peso da parte do corpo acima do Lv5-Sv1 é igual a 2/3 do peso total do corpo (Charrière, 1965) Peso acima Lv5-Sv1 = P = 2/3 x Ptot	L3 = 18,4 cm
Carga C = m . (a + g) , g = 10 m/s ² e m = massa da carga a ser elevada	L4 = 45,0 cm

Decompondo as forças

onde μ (N / cm²) e Δ (cm²).

Pelo Diagrama de Forças da Figura 1, temos que a componente da Força F no eixo x é dada por:

$$P_x = P . \lambda . sen \alpha \quad (6)$$

onde $\lambda = (2/3)$ e P = Peso Total do corpo do indivíduo.

$$F_x = M_x + A_x - P_x - C_x \quad (2)$$

$$M_x = M \quad (3)$$

$$C_x = C . sen \alpha , \quad (7)$$

$$A_x = A . cos \alpha \quad (4)$$

onde C = m . (a + g) sendo m e g constantes.

$$A = \mu . \Delta \quad (5)$$

Substituindo, teremos que :

$$F_x = M + A \cdot \cos \alpha - P \cdot \lambda \cdot \text{sen } \alpha - C \cdot \text{sen } \alpha \quad (8)$$

$$T_a = A \cdot L_2 \quad (11)$$

Pelo Momento das Forças do Sistema em relação ao eixo sob o qual está definido Lv5-Sv1, temos que:

$$T_p = P \cdot \lambda \cdot L_3 \cdot \Omega \quad (12)$$

$$T_c = C \cdot L_A \cdot \Omega \quad (13)$$

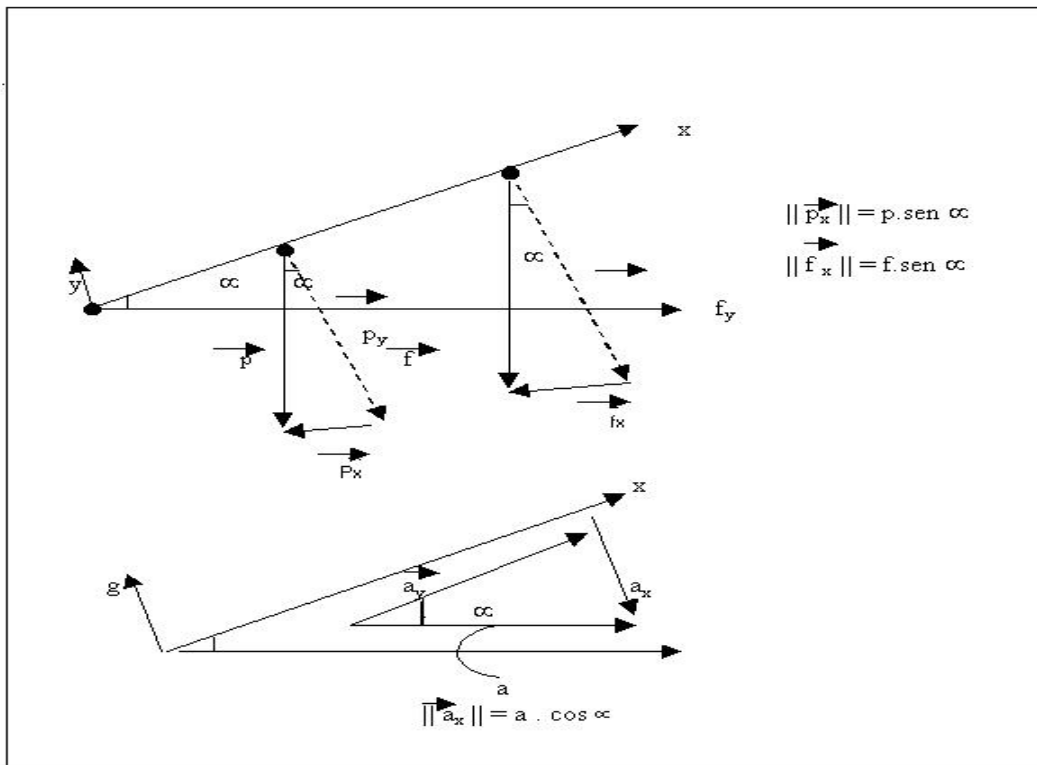
$$T = T_m + T_a - T_p - T_c = 0 \quad (9)$$

onde $\Omega = \cos(\alpha - \delta)$ e $\delta = 18^\circ$

$$T_m + T_a - T_p - T_c = 0$$

$$T_m = M \cdot L_1 \quad (10)$$

Figura 1 – Diagrama de forças



Substituindo as igualdades na equação 9, teremos:

$$M = (1/L1).(P.\lambda.L3.\Omega + C.L4.\Omega - A.L2) \quad (14)$$

Combinando as equações 8 e 14 teremos então:

$$F_x = \text{Força de compressão do Lv5-Sv1}$$

3.1 Modelo Mecânico-Matemático Proposto

$$F_x = P.\lambda.[(L3/L1).\Omega + \text{sen } \alpha] + C.[(L4/L1).\Omega + \text{sen } \alpha] - A.[(L2/L1) + \text{cos } \alpha]$$

Pelo presente Modelo temos que a Força de compressão pode ser expressa em função das variáveis independentes, Força Peso da Pessoa (P), Força Peso da Carga (C) a ser suspensa e o ângulo α , formado pelo eixo central do disco Lv5-Sv1 definido no plano sagital e o plano horizontal de sustentação e sob o qual estão apoiados os pés. Em síntese temos a seguinte função:

$$F = F(P, C, \alpha)$$

É importante ressaltar que as distâncias L, definidas como sendo os braços de alavanca das forças definidas no sistema mecânico, são na sua natureza, considerado um corpo de dimensões proporcionais ao modelo médio, diretamente proporcionais a estatura (h) do corpo do indivíduo analisado e conseqüentemente as razões entre as mesmas serão iguais a constantes adimensionais e que expressarão os valores médios de maior probabilidade de serem observados num corpo

qualquer, uma vez que os mesmos são as tendências centrais das respectivas razões.

$$L_i = K_i \cdot h$$

$$L_i / L_j = K_i / K_j = \text{Constante } \beta_i$$

onde $i = 1, 2, 3, 4$, K = ctes adimensionais e h estatura.

Portanto,

$$F_x = P.[\beta_3 \cdot \Omega + \text{sen } \alpha] + C.[\beta_4 \cdot \Omega + \text{sen } \alpha] - A.[\beta_2 + \text{cos } \alpha]$$

4. Conclusões e Recomendações

A postura ideal de um indivíduo, a fim de evitar as doenças que atingem a região lombar, nas mais diferentes situações (maneira de sentar, forma de levantar uma carga, etc.) tem sido foco de inúmeras pesquisas, uma vez que é uma das razões que mais afasta os operários de seu trabalho. A má postura dos seres humanos, aliada ao sedentarismo que ocasiona a flacidez da parede abdominal com o acúmulo de panículo adiposo, quando um desequilíbrio muscular que predispõe indivíduos ao desenvolvimento de lombalgia, além de poder acarretar lordose e cifose.

Este estudo mostra que o principal fator do aumento da intensidade da força de compressão no disco intervertebral é o ângulo que o tronco forma com a direção horizontal. Assim, uma postura ideal para evitar desenvolvimento de males na região lombar é aquela em que o tronco mais se aproxima da direção vertical.

Recomendamos que futuras investigações nessa linha envolvam os efeitos de torção do tronco, fator este que não foi analisado neste estudo. Também o desenvolvimento de

aparelhos ergométricos, utilizados para exercícios que envolvam a região lombar podem basear-se no modelo mecânico-matemático desenvolvido.

Referências

1. ALONSO, M. e FINN, E.J. (1977). *Física, um Curso Universitário* (vol.1) São Paulo: Edgard Blücher .
2. BRERETON, L. C. e MCGILL, S. M. (1998). Frequency Response of spine extensors during rapid isometric contractions: effects of muscle. *J Eletromyogr Kinesiol*, England, v. 8, n. 4, P. 227 – 32.
3. CALAIS – GERMAIN, B. (1992). *Anatomia para o Movimento* (vol. 1). São Paulo, Manole, P. 34 – 54.
4. CHARRIÈRE, L. (1965). *La Kinésithérapie Dans le Traitement des Algies Vertebrales*. Paris: Manon et Cie Éd.
5. CHRISTENSEN, F. B., THOMSEN, K., EISKJAER, S. P. e BUNGER, C. E. (1998). *Functional Outcome After Spinal Fusion Using Pedicle Screws: Comparison*. *Eur Spini J.*, Germany, v. 7, n. 4, P. 321-7.
6. FONSECA, Adhemar (1977). *Curso de Mecânica*. Vol. II. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A..
7. FONSECA, Victor da (1988). *Da Filogênese à Ontogênese da Motricidade*. Porto Alegre: Artes Médicas.
8. FINOCCHIARO, José et al. (1978). *Manual de Prevenção das Lombalgias*. São Paulo: Lex Editora.
9. FRANKEL, V. H. & BURSTEIN, A. H. (1973). *Biomecânica Ortopédica*. Barcelona: Editorial Jins.
10. HALL, S.J. (1993). *Biomecânica Básica*. Rio de Janeiro: Koogan.
11. KNOPLICH, J. (1986). *Enfermidades da Coluna Vertebral*. São Paulo, Panamed, P. 44 – 70.
12. OKUNO, E. et al. (1986). *Física para Ciências Biológicas e Biomédicas*. São Paulo: Harbra.
13. RESNIK, R & HALLIDAY, D. (1987). *Física*. Vol 1. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos.
14. WHITE, A. e PANJABI, M. M. (1978). *Clinical Biomechanics of the Spine*. Philadelphia, Lippincott.

Stabilizing the Output of Linear Multivariable Regular Descriptor Systems

Geraldo Motta Azevedo Júnior

*Electrical Engineering Department, COPPE, Federal University of Rio de Janeiro
RJ, BRAZIL, CEP 21945-970, E-mail: geraldo@pee.coope.ufrj.br*

Abstract

This paper introduces the output stabilization problem in linear multivariable regular descriptor systems. The problem is solved using a geometric approach and the results obtained are generalizations for singular systems of the classical output stabilization problem using state feedback, firstly presented by Bhattacharyya, Pearson and Wonham (1972).

Palavras-Chave: Linear Multivariable Systems; Descriptor Systems; Continuous Systems; Output Regulation; Feedback Stabilization

1. Introduction

The linear time-invariant descriptor systems are represented in the generalized state-space form by the equations:

$$\begin{cases} T \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \\ y(t) = Cx(t) \\ x(0^-) = x_0, \quad t > 0 \end{cases}$$

where

$A: \mathbf{X} \rightarrow \mathbf{X}$, $B: \mathbf{U} \rightarrow \mathbf{X}$ and $C: \mathbf{X} \rightarrow \mathbf{Y}$
are linear maps,
 $\dim(\mathbf{X}) = n$, $\dim(\mathbf{U}) = m$, $\dim(\mathbf{Y}) = r$
and $\text{rank}(\mathbf{T}) \leq n$.

The problem of zeroing the output of a purely dynamic system by using only the state feedback approach was treated by several authors. A very complete discussion can be found in Silverman and Payne (1971). Bhattacharyya, Pearson and Wonham (1972)

solved a more general problem, named as the output stabilization problem (O.S.P.), obtaining conditions under which any nonzero output is made to approach zero as $t \rightarrow \infty$ and a zero output is maintained at zero.

In this paper, we are mainly interested in descriptor systems. Particular importance is given to regular descriptor systems and the assumption of regularity is done, exactly as in almost all well known results about descriptor systems. In fact, our goal here is to develop and apply the ideas presented in Bhattacharyya, Pearson and Wonham (1972) to regular descriptor systems. Some restrictions are imposed to the formulation of the problem in order to get a unique solution for the feedback system and also for obtaining unique maximal invariant subspaces.

The organization of this paper is as follows. In Section 2, we introduce the necessary geometric properties, related to the concept of invariance, to be used in the sequel and, the O.S.P. is briefly discussed from the standard viewpoint. In Section 3, we introduce the concept of strong regularity in order to

formulate and solve the O.S.P. applied to regular descriptor systems and an example is also discussed. In Section 4, the concluding remarks are presented.

2. Theoretical Background

2.1 Generalized Invariant Subspaces

Definition 1 The subspace \mathbf{V} is said to be (A, T) - invariant if and only if $A\mathbf{V} \subset T\mathbf{V}$.

Consider the family of (A, T) - invariant subspaces defined by:

$$\underline{Z}(A, T; \mathbf{X}) = \{ \mathbf{Z} \subset \mathbf{X} \mid A\mathbf{Z} \subset T\mathbf{Z} \}$$

It is well known that this family contains a unique supremal element, denoted by $\mathbf{Z}^* := \sup \underline{Z}(A, T; \mathbf{X})$, that can be computed in a finite number of steps, using the following algorithm:

$$\begin{aligned} \mathbf{Z}_0 &= \mathbf{X} \\ \mathbf{Z}_\lambda &= A^{-1}(T\mathbf{Z}_{\lambda-1}), \quad \lambda=1,2,K \end{aligned}$$

where:

$$A^{-1}(T\mathbf{Z}_{\lambda-1}) := \{ x \in \mathbf{X} \mid Ax \in T\mathbf{Z}_{\lambda-1} \}.$$

The sequence given by (2) is non-increasing and this fact implies that there is a finite number $\lambda \leq \dim(\mathbf{X})$ such that $\mathbf{Z}_\lambda = \mathbf{Z}_{\lambda+1} = \mathbf{Z}^*$. The subspace \mathbf{Z}^* , defined in this way, is the subspace of the non-impulsive modes of the homogeneous time-invariant linear system $T\dot{x}(t) = Ax(t)$.

Definition 2 The subspace \mathbf{V} is said to be (T, A) - invariant if and only if $T\mathbf{V} \subset A\mathbf{V}$.

Consider the family of (T, A) - invariant subspaces defined by:

$$\underline{H}(T, A; \mathbf{X}) = \{ \mathbf{H} \subset \mathbf{X} \mid T\mathbf{H} \subset A\mathbf{H} \}$$

Given the following non-decreasing sequence:

$$\begin{aligned} \mathbf{H}_0 &= 0 \\ \mathbf{H}_\lambda &= T^{-1}(A\mathbf{H}_{\lambda-1}), \quad \lambda=1,2,K \end{aligned}$$

Then, for some finite number λ , there is a subspace \mathbf{H}^* such that: $\mathbf{H}_\lambda = \mathbf{H}_{\lambda+1} = \mathbf{H}^*$. This subspace, closed related to the infinite-zero structure of the pencil $(sT - A)$, is the infimal of the family $\underline{H}(T, A; \mathbf{X})$.

For a detailed exposition of these concepts see Armentano (1986) and Wong (1974).

Definition 3 The subspace \mathbf{V} is said to be (A, T, B) - invariant if and only if there exists $F: \mathbf{X} \rightarrow \mathbf{U}$ such that $(A + BF)\mathbf{V} \subset T\mathbf{V}$.

The following result (see Wonham, 1979) gives another definition for the concept of (A, T, B) - invariance.

Lemma 1 Let $\mathbf{V} \subset \mathbf{X}$. Then, the subspace \mathbf{V} is (A, T, B) - invariant if and only if $A\mathbf{V} \subset T\mathbf{V} + \mathbf{B}$.

Then, the family of (A, T, B) - invariant subspaces can be written as:

$$\underline{C}(A, T, B; \mathbf{X}) = \{ \mathbf{W} \subset \mathbf{X} \mid A\mathbf{W} \subset T\mathbf{W} + \mathbf{B} \}$$

The unique supremal element of this family, denoted by $\mathbf{W}^* := \sup \underline{C}(A, T, B; \mathbf{X})$, can be computed using the following direct algorithm:

$$\begin{aligned} \mathbf{W}_0 &= \mathbf{X} \\ \mathbf{W}_\mu &= A^{-1}(T\mathbf{W}_{\mu-1} + \mathbf{B}), \quad \mu=1,2,K \end{aligned}$$

Let \mathbf{K} be an arbitrary but otherwise fixed subspace. Then, the class of (A, T, B) -

invariant subspaces contained in \mathbf{K} is denoted by $\underline{\mathbf{C}}(A, T, B, \mathbf{K})$.

2.2 Preliminary Results

Definition 4 Let $\mathbf{R}[s]$ be the ring of polynomials over the field \mathbf{R} . The pencil $(sT - A)$ is said to be regular if and only if $\det(sT - A) \neq 0$ over $\mathbf{R}[s]$.

An important geometric characterization of regularity is presented by the following lemma.

Lemma 2 The statements are equivalent:

1. The pencil $(sT - A)$ is regular.
2. $\mathbf{Z}^* \oplus \mathbf{H}^* = \mathbf{X}$.
3. $\text{Ker}(T) \cap \mathbf{Z}^* = 0$.

Proof. See Armentano (1986).

2.3 Output Stabilization Problem in Dynamic Linear Systems

The classical *O.S.P.* was firstly introduced by Bhattacharyya, Pearson and Wonham (1972) and subsequently developed by Wonham (1979).

Let the field \mathbf{C} be symmetrically decomposed as $\mathbf{C} = \mathbf{C}_g \cup \mathbf{C}_b$, $\mathbf{C}_g \cap \mathbf{C}_b = 0$ where $\mathbf{C}_g = \{s: \text{Re}(s) < 0\}$ and $\mathbf{C}_b = \{s: \text{Re}(s) \geq 0\}$. Let $m(s)$ be the minimal polynomial of a n-square matrix A . We can write: $m(s) = m_g(s) \cdot m_b(s)$ where $m_g(s)$ and $m_b(s)$ has all its zeros in \mathbf{C}_g and \mathbf{C}_b respectively.

Definition 5 The subspaces of stable and unstable modes of the matrix A are given by:

- $\mathbf{X}_g(A) = \{x \in \mathbf{X} \mid m_g(A)x = 0\}$
- $\mathbf{X}_b(A) = \{x \in \mathbf{X} \mid m_b(A)x = 0\}$

It is easy to show that the subspaces $\mathbf{X}_g(A)$ and $\mathbf{X}_b(A)$ are both A -invariant subspaces and $\mathbf{X}_g(A) \oplus \mathbf{X}_b(A) = \mathbf{X}$. Also, it is well known (see Wonham, 1967) that the pair (A, B) is stabilizable if and only if $\mathbf{X}_b(A) \subset \{A \mid B\} = B + AB + K + (A)^{n-1}B$.

Now, consider the following dynamic system:

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \\ y(t) = Cx(t) \end{cases}$$

$$x(0) = x_0, \quad t > 0$$

The *O.S.P.* can be formulated as follows: Given the triple (A, B, C) and the symmetric decomposition $\mathbf{C} = \mathbf{C}_g \cup \mathbf{C}_b$ find a map $F: \mathbf{X} \rightarrow \mathbf{U}$ such that:

$$\mathbf{X}_b(A + BF) \subset \text{Ker}(C)$$

And, the solution of the problem is given by the following theorem.

Theorem 1 Let $\mathbf{V}^* = \sup \underline{\mathbf{C}}(A, B, \text{Ker}(C))$. The output stabilization problem (*O.S.P.*) is solvable in system (4) if and only if:

$$\mathbf{X}_b(A) \subset \{A \mid B\} + \mathbf{V}^*$$

Proof. See Wonham (1979).

This theorem can be paraphrased by saying that the unstable exponents of the output can be converted to stable exponents by using state feedback if and only if the subspace of unstable modes of A are spanned by the controllable space $\{A \mid B\}$ plus the largest (A, B) -invariant subspace contained in $\text{Ker}(C)$, named as \mathbf{V}^* .

3. Main Results

In this section, we introduce the contributions of this paper in order to solve the *O.S.P.* applied to regular descriptor systems.

3.1 Regularity of the Feedback System

It is well known that *regularity* is not a state feedback invariant property. In general, the regularity of a system does not imply that the feedback system will be regular. But, this feature can be obtained in an important class of systems.

Definition 6 A regular system is said to be **strongly regular** if and only if the pencil $(sT - (A + BF))$ is regular for all matrix F .

The following theorem gives a set of equivalent conditions using only the assumption that the original system is regular.

Theorem 2 Let the class \underline{W} be defined as $\underline{W} := \{ \mathbf{W} \subset \mathbf{X} \mid A\mathbf{W} \subset T\mathbf{W} + \mathbf{B} \text{ and } \mathbf{W} \cap \text{Ker}(T) = \mathbf{0} \}$ and assume that system (1) is regular. Then, the following statements are equivalent:

1. $\text{Ker}(T) \cap \mathbf{W}^* = \mathbf{0}$.
2. $\mathbf{W}^* \cap \mathbf{H}^* = \mathbf{0}$.
3. $\mathbf{W}^* = \mathbf{Z}^*$.
4. $\det(sT - (A + BF)) \neq 0$.
5. \underline{W} is closed under addition of subspaces.
6. $\mathbf{B} \subset T\mathbf{Z}^*$.

Proof. See Azevedo Jr (1996)

It is clear that each one of the statements in Theorem 2 can be used to define a system with the property of **strong regularity**.

3.2 Problem Formulation

Consider the regular descriptor system given by equation (1). The *O.S.P.* can be formulated as follows: find necessary and sufficient

conditions over (T, A, B, C) such that, with $u(t) = Fx(t) + v(t)$ the output of the feedback system will satisfy: $y_F(t) \rightarrow 0$ when $t \rightarrow \infty$. The feedback system is as follows:

$$\begin{cases} T\dot{x}(t) = (A + BF)x(t) + Bv(t) \\ y(t) = Cx(t) \end{cases}$$

The homogeneous state vector (see Dias and Mesquita, 1987, 1990) is given by: $x(t) = V_F e^{A_z(F)t} (V_F)^{\#} x(0^-)$, $t > 0$, where V_F is a matrix representation of the subspace $(\mathbf{Z}^*)_F$, the supremal element of the class $\underline{Z}((A + BF), T, \mathbf{X})$, $(V_F)^{\#}$ is the Moore – Penrose generalized inverse of the matrix V_F and the matrix $A_z(F)$ can be obtained from: $(A + BF)V = TV A_z(F)$.

Also with $v(t) = 0$, the output of the feedback system is $y_F(t) = CV_F e^{A_z(F)t} (V_F)^{\#} x(0^-)$, $t > 0$. Hence, $\lim_{t \rightarrow \infty} y_F(t) = 0$ implies that:

$$CV_F \left(\lim_{t \rightarrow \infty} (e^{A_z(F)t}) \right) (V_F)^{\#} x(0^-) = 0, \text{ for all } x(0^-) \in (\mathbf{Z}^*)_F.$$

But, if $x(0^-) \in (\mathbf{Z}^*)_F$, then it is clear that $\exists z(0^-) \mid x(0^-) = V_F z(0^-)$. Thus, it follows that: $(V_F)^{\#} x(0^-) = z(0^-)$. And,

$$CV_F \left(\lim_{t \rightarrow \infty} (e^{A_z(F)t}) \right) z(0^-) = 0, \quad \forall z(0^-)$$

From equation (5), one can easily conclude: $CV_F \left(\lim_{t \rightarrow \infty} (e^{A_z(F)t}) \right) = 0$. Hence, in order to solve the *O.S.P.*, it is necessary that:

$$\mathbf{X}_b(A_z(F)) \subset \text{Ker}(CV_F)$$

It is important to note that the coefficients of the matrix $A_z(F)$ are dependent on the feedback matrix F . In this way, the solution of the *O.S.P.* is directly related to the non-linear problem of choosing, if possible, a feedback matrix F to satisfy condition (6).

$$\begin{cases} I_l \tilde{x}_1(t) = (A_z + B_z F_z) \tilde{x}_1(t) \\ T_h \tilde{x}_2(t) = I_{n-l} \tilde{x}_2(t) \end{cases}$$

Therefore, the solution of the *O.S.P.* in system (1) is obtained from the solution of the same problem in the dynamic subsystem.

3.3 Problem Solution

Introducing the two matrices $P = [V | W]$, $Q = [TV | AW]$, where V and W are matrix representations of the subspaces Z^* and H^* respectively, and applying the linear transformation $x(t) = P \tilde{x}(t)$, system (1) became as follows:

$$\begin{cases} Q^{-1} TP \tilde{x}(t) = Q^{-1} AP \tilde{x}(t) + Q^{-1} Bu(t) \\ y(t) = CP \tilde{x}(t) \end{cases}$$

Using this canonical decomposition (see Yip and Sincovec, 1981), it is easy to show that:

$$\begin{cases} \tilde{T} = \begin{bmatrix} I_l & 0 \\ 0 & T_h \end{bmatrix}, \quad \tilde{A} = \begin{bmatrix} A_z & 0 \\ 0 & I_{n-l} \end{bmatrix} \\ \tilde{B} = \begin{bmatrix} B_z \\ B_h \end{bmatrix} \quad \text{and} \quad \tilde{C} = [C_z | C_h] \end{cases}$$

where: $\tilde{T} = Q^{-1} TP$, $\tilde{A} = Q^{-1} AP$, $\tilde{B} = Q^{-1} B$, $\tilde{C} = CP$ and the matrix T_h is nilpotent.

Applying the state feedback $u(t) = \tilde{F} \tilde{x}(t)$ into the system, and assuming that

$$\tilde{B} \tilde{F} = \begin{bmatrix} B_z F_z & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

the resulting feedback system is decomposed in the following way:

Let the system $\tilde{x}_1(t) = A_z \tilde{x}_1(t) + B_z u(t)$, it must be find a state feedback $u(t) = F_z x(t)$, such that the output of the feedback system approaches zero as $t \rightarrow \infty$. Bhattacharyya, Pearson and Wonham (1972) have shown that it is possible if and only if:

$$\mathbf{X}_b(A_z) \subset \{A_z | B_z\} + \mathbf{R}^*$$

where: $\mathbf{R}^* = \sup C(A_z, B_z; \text{Ker}(CV))$

Now, we need to investigate when condition (8) is satisfied. Supposing that the condition (8) is true, from the relations $\tilde{B} = Q^{-1} B$ and $\tilde{F} = FP$ it follows that $Q \tilde{B} \tilde{F} = BFP$. Hence,

$$\begin{aligned} [TV | AW] \begin{bmatrix} B_z F_z & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} &= BF[V | W] \Rightarrow \\ [TV B_z F_z | 0] &= [BFV | BFV] \end{aligned}$$

The above equation implies that:

$$\begin{cases} BFV = 0 \Leftrightarrow W \subset \text{Ker}(BF) \Leftrightarrow H^* \subset \text{Ker}(BF) \\ BFV = TV B_z F_z \Leftrightarrow BFV \subset T Z^* \end{cases}$$

Hence, it is sufficient that $H^* \subset \text{Ker}(F)$ and $B \subset T Z^*$ to reach the condition (8).

Also, note that condition $H^* \subset \text{Ker}(F)$ implies that the state feedback applied to the system (7) must be of the form $u(t) = [F_z | 0] \tilde{x}(t)$.

Furthermore, if $\mathbf{B} \subset T\mathbf{Z}^*$ then condition $\mathbf{H}^* \subset \text{Ker}(F)$ is redundant to obtain equation (8). In fact, assume that the system (1) has the property of strong regularity. So, $\mathbf{B} \subset T\mathbf{Z}^* \Rightarrow \exists B_z \mid B = TVB_z$ which implies $B_h = 0$ in equation (7).

Applying to system (7) a complete state feedback $u(t) = [F_z \mid F_h] \tilde{x}(t)$, it follows that:

$$\begin{cases} \left[\begin{array}{c|c} I_l & 0 \\ \hline 0 & T_h \end{array} \right] \tilde{x}(t) = \left[\begin{array}{c|c} A + B_z F_z & B_h F_h \\ \hline 0 & I_{n-l} \end{array} \right] \tilde{x}(t) \\ y(t) = [C_z \mid C_h] \tilde{x}(t) \end{cases}$$

From theorem 2, we know that $\mathbf{Z}^* = \mathbf{W}^*$ and hence $(\mathbf{Z}^*)_F = \mathbf{Z}^*, \forall F$. Thus, the maximal element of the class of $(\tilde{A} + \tilde{B}F, \tilde{T})$ -invariant subspaces is given by:

$$(\mathbf{Z}^*)_F = \left\{ \begin{array}{c} I_l \\ \hline 0 \end{array} \right\}$$

Also from theorem 2, it follows that the feedback system is regular. Thus, from lemma 2, we can write: $(\mathbf{Z}^*)_F + (\mathbf{H}^*)_F = \mathbf{X}$. And, the maximal element of the class of $(\tilde{T}, \tilde{A} + \tilde{B}F)$ -invariant subspaces is given by:

$$(\mathbf{H}^*)_F = \left\{ \begin{array}{c} E \\ \hline I_{n-l} \end{array} \right\}$$

where: E is an arbitrary $l \times (n-l)$ matrix.

Now using $P_1 = [V_F \mid W_F] = \left[\begin{array}{c|c} I_l & E \\ \hline 0 & I_{n-l} \end{array} \right]$ and

$$Q_1 = [TV_F \mid AW_F] = \left[\begin{array}{c|c} I_l & G \\ \hline 0 & I_{n-l} \end{array} \right],$$

where $G = (A + B_z F_z) \cdot E + B_z F_h$, and applying the linear transformation $\tilde{x}(t) = P_1 \bar{x}(t)$ to system (10), it can be seen that, in this new basis, the matrix $\tilde{A} + \tilde{B}F$ is written as: $\bar{A}_F = (Q_1)^{-1} \cdot (\tilde{A} + \tilde{B}F) P_1 \Rightarrow \bar{A}_F = \left[\begin{array}{c|c} A + B_z F_z & 0 \\ \hline 0 & I_{n-l} \end{array} \right]$.

It is clear that the matrix \bar{A}_F is completely independent of the parameter F_h . Hence, if the condition $\mathbf{B} \subset T\mathbf{Z}^*$ is satisfied, a complete state feedback $u(t) = [F_z \mid F_h] \tilde{x}(t)$ and the state feedback $u(t) = [F_z \mid 0] \tilde{x}(t)$ will create two equivalent systems, which have the same output.

From the following two theorems (see Azevedo Jr., 1996) we can state condition (9) directly in terms of the original matrices in system (1).

Theorem 3 Given the subspaces \mathbf{R} and $\mathbf{S} = V\mathbf{R}$ the subspace $\mathbf{R} \in \underline{C}(A_z, B_z; \text{Ker}(CV))$ if and only if the subspace $\mathbf{S} \in \underline{C}(A, T, B; \text{Ker}(C) \cap \mathbf{Z}^*)$.

Theorem 4 The subspace \mathbf{R}^* is the supremal element of the class $\underline{C}(A_z, B_z; \text{Ker}(CV))$ if and only if the subspace \mathbf{S}^* is the supremal element of the class $\underline{C}(A, T, B; \text{Ker}(C) \cap \mathbf{Z}^*)$.

Using relation (9), it follows that:

$$\mathbf{X}_b(A_z) \subset \{A_z \mid B_z\} + \mathbf{R}^* \Rightarrow V\mathbf{X}_b(A_z) \subset V\{A_z \mid B_z\} + V\mathbf{R}^*.$$

From theorem 4 we have the following condition:

$$V\mathbf{X}_b(A_z) \subset V\{A_z \mid B_z\} + \mathbf{S}^*$$

All the previous discussion can be summarized in the following theorem, which is the main result of this paper.

Theorem 5 Consider the regular descriptor system (1) characterized by the matrices (T, A, B, C) with the property of strong regularity. The output stabilization problem (*O.S.P.*) is solvable by the state feedback $u(t) = F x(t) + v(t)$ if and only if

$$V\mathbf{X}_b(A_z) \subset V\{A_z | \mathbf{B}_z\} + \mathbf{S}^*$$

Whenever the *O.S.P.* is solvable, the appropriate state feedback is given by $F = \tilde{F} P^{-1}$, where $\tilde{F} = [F_z | F_h]$. The matrix F_z is obtained from the solution of the classical problem in the dynamic subsystem of system (7) and the matrix F_h can be arbitrarily chosen. ($F_h = 0$ for simplicity).

3.4 Examples

The following example illustrates the applicability of the results presented here.

Consider the following regular descriptor system:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \dot{x}(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} u(t)$$

$$y(t) = [1 \ 1 \ 0 \ -1] x(t)$$

It follows that:

$$\mathbf{Z}^* = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \text{ and } \mathbf{H}^* = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Hence, $\mathbf{B} \subset T\mathbf{Z}^*$. Rewriting the system according to the canonical decomposition (7), we have:

$$\tilde{T} = \left[\begin{array}{ccc|c} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right], \tilde{A} = \left[\begin{array}{ccc|c} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -5 & -1 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right]$$

$$\tilde{B} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ and } \tilde{C} = [1 \ 1 \ 1 \ | \ 0]$$

It follows that:

$$\mathbf{X}_b(A_z) = \left\{ \begin{bmatrix} 6 & 1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \right\}, \text{Ker}(CV) = \left\{ \begin{bmatrix} -1 & -1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \right\}$$

$$\{A_z | \mathbf{B}_z\} = \left\{ \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} \right\} \text{ and } \mathbf{R}^* = \left\{ \begin{bmatrix} -1 & -1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \right\}$$

Thus, $\mathbf{X}_b(A_z) \not\subset \text{Ker}(CV)$ and the output of the system does not go to zero when $t \rightarrow \infty$. In fact,

$$y(t) = \left(\frac{7}{6} x_1(0) + \frac{5}{6} x_3(0) \right) e^t + \left(-\frac{1}{6} x_1(0) + x_2(0) + \frac{1}{6} x_3(0) \right) e^{-5t}$$

But, $\mathbf{X}_b(A_z) \subset \{A_z | \mathbf{B}_z\} + \mathbf{R}^*$ and obviously $V\mathbf{X}_b(A_z) \subset V\{A_z | \mathbf{B}_z\} + \mathbf{S}^*$, and the *O.S.P.* is solvable by a state feedback $u(t) = F x(t) + v(t)$. Thus, we need to solve the classical problem applied to the dynamic subsystem of the system (11), that is:

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & -5 & -1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} u(t) \\ y(t) = [1 \ 1 \ 1] x(t) \end{cases}$$

Hence,

$$\{A|B\} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -1 \\ 1 & 1 \end{Bmatrix}, \quad X_b(A) = \begin{Bmatrix} 1 & 6 \\ 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{Bmatrix} \text{ and } \text{Ker}(C) = \begin{Bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \\ -1 & -1 \end{Bmatrix}.$$

Then, $X_b(A) \not\subset \text{Ker}(C)$ and the output of this system, as expected, does not tend to zero.

$$\text{Also, } V^* = \begin{Bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \\ -1 & -1 \end{Bmatrix}.$$

Then, $X_b(A) \subset \{A|B\} + V^*$. Denoting by $F(V^*)$ the class of maps $F: X \rightarrow U$ such that $(A+BF)V \subset V^*$, one can easily state that:

$$F(V^*) = \{[-2 + f_3 \quad 5 + f_3 \quad f_3] \mid f_3 \in \mathbb{R}\}$$

And, it can easily be shown that the matrix $F = [-3 \quad 4 \quad -1] \in F(V^*)$ solves the classical problem in system (12). A detailed procedure to calculate F can be found in Azevedo Jr. (1996).

The matrix $\tilde{F} = [-3 \quad 4 \quad 1 \mid 0] \in F(V^*)$ solves the *O.S.P.* in the system (11) and finally the state feedback $u(t) = [-3 \quad 4 \quad -5 \quad -4]x(t) + v(t)$ is the desired solution of the original problem.

The output of the feedback system is given by $y(t) = (x_1(0) + x_2(0) + x_3(0)) e^{-t}$ and it follows that $y(t) \rightarrow 0$ when $t \rightarrow \infty$.

4. Concluding Remarks

In this paper a generalization of the solution of the classical output stabilization problem (*O.S.P.*) was obtained by using the state feedback method, and this generalization includes the linear multivariable regular descriptor systems with the property of strong regularity. It was shown that if the descriptor system satisfies the condition $B \subset TZ^*$, then the *O.S.P.* can be solved using the same approach firstly used by Bhattacharyya, Pearson and Wonham (1972).

The strong regularity of the system guarantees:

- (i) The regularity of the feedback system, for all F .
- (ii) The closure of the class W under the addition of subspaces

However, when the system is not strongly regular, it is not possible to decide a priori about the solvability of the problem.

In addition, it was proved that the output of a descriptor system approaches zero as $t \rightarrow \infty$ if and only if $X_b(A) \subset \text{Ker}(CV)$.

Finally, if the matrix T is not singular then the conditions $B \subset TZ^*$ and $H^* \subset \text{Ker}(F)$ are satisfied for all matrix F . Furthermore, the condition $VX_b(A) \subset V\{A|B\} + S^*$ reduces trivially to the condition obtained in Bhattacharyya, Pearson and Wonham (1972), that is $X_b(A) \subset V\{A|B\} + V^*$.

5. References

[1] ARMENTANO, V. A. The pencil (sE – A) controllability for generalized linear systems. SIAM J. Control Opt.. Vol. 24. pg. 616 - 638. 1986.

[2] AZEVEDO JR., G. M. Regulating and zeroing the output of multivariable linear

descriptor system. Master Thesis. COPPE - Federal University of Rio de Janeiro. 1996. Automat. Control. Vol. AC – 26. pg. 702 - 707. 1981.

[3] BHATTACHARYYA, S. P., PEARSON, J. B. and WONHAM, W. M. On zeroing the output of a linear system. Information and Control. Vol.20. pg. 135 - 142. 1972.

[4] DIAS, R. J. and MESQUITA, A. Solution of singular linear systems: Geometric properties and algorithms. ISCAS. pg. 316 - 319. 1987.

[5] DIAS, R. J. and MESQUITA, A. A closed form solution for regular descriptor systems using the Moore - Penrose generalized inverse. Automatica. Vol. 36. pg. 417 - 420. 1990.

[6] SILVERMAN, L. M. and PAYNE, H. J. Input - output structure of linear systems with application to the decoupling problem. SIAM J. Control Opt. Vol. 9. pg. 109 - 233. 1971.

[7] WONG, K. T. The eigenvalue problem ($\lambda Tx - Sx$). Journal of Differential Equations. Vol. 16. pg. 270 - 280. 1974.

[8] WONHAM, W. M. On pole assignment in multi - input controllable linear systems. IEEE Trans. Automat. Control. Vol. 12. pg. 660 - 665. 1967.

[9] WONHAM, W. M. Linear multivariable control: A geometric approach. Springer Verlag. New York. Second Edition. 1979.

[10] YIP, E. L. and SINCOVEC, R. F. Solvability, controllability and observability of continuous descriptor systems. IEEE Trans.

Um Algoritmo Genético Paralelo Utilizando Biblioteca MPI e sua Aplicação em um Problema da Engenharia Nuclear

Marcel Waintraub¹, Rafael p. Baptista², Roberto Schirru², Cláudio M. N. A. Pereira^{1,2}

¹ Instituto de Engenharia Nuclear (IEN/ CNEN)
Caixa Postal 68550 - Ilha do Fundão, s/n - CEP 21945-970 - Rio de Janeiro, RJ
Tel.: + 55 21 22098180 - email: marcel@ien.gov.br

² Universidade Federal do Rio de Janeiro (PEN/ COPPE)
Caixa Postal 68509 - Ilha do Fundão, s/n
CEP 21945-970 - Rio de Janeiro, RJ
email - rafael@ien.gov.br

Resumo

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um algoritmo genético paralelo [1] distribuído aplicado à otimização de um projeto neutrônico. Para a implementação do paralelismo, utilizou-se a biblioteca "Message Passing Interface" (MPI) [2], padrão para computação paralela em ambientes de memória distribuída com intercambiamento de mensagens. Outra característica importante do MPI é sua portabilidade para qualquer arquitetura.

Como principais objetivos deste artigo têm-se: i) validação dos resultados obtidos pela aplicação deste algoritmo na otimização de um projeto neutrônico, através de comparações com resultados apresentados na literatura. [3][4] e ii) teste de performance do cluster do Instituto de Engenharia Nuclear (IEN) [5] em problemas de otimização aplicados ao cálculo de física de reatores.

Os experimentos demonstraram que o algoritmo genético paralelo utilizando a biblioteca MPI, implantado no cluster do IEN, apresentou ganhos significativos nos resultados obtidos, bem como no tempo de processamento. Tais resultados ratificam a utilização do cluster do IEN com algoritmos genéticos paralelos para resolução de problemas de otimização de projetos neutrônicos.

Palavras-chave: Algoritmos genéticos; Processamento distribuído; Cluster; Projeto de Reatores.

1. Introdução

Os algoritmos genéticos (AGs) constituem uma poderosa técnica de otimização devido a sua robustez e fácil customização. Conseqüentemente, eles vêm sendo aplicados com sucesso na busca de soluções aceitáveis para diversos problemas de engenharia, em especial, problemas complexos como aqueles

encontrados na engenharia nuclear, tais como: recarga de combustível [6]; política de manutenção [7]; projeto de sistemas de diagnósticos [8]; projeto neutrônico de reatores [4] dentre outros.

Embora sejam capazes de encontrar boas soluções, para certos problemas os AGs podem necessitar que a função de avaliação seja calculada milhares de vezes. Dependendo

do custo computacional de cada avaliação, a obtenção de uma solução aceitável pode tornar-se inviável. Felizmente os AGs trabalham com uma população de soluções independentes, tornando possível distribuir a carga computacional por vários processadores. Apesar de parecer trivial, a paralelização dos AGs esbarra na não-linearidade verificada no seu mecanismo, visto que sua eficiência e qualidade das soluções dependem de vários parâmetros.

Para superar esta dificuldade, adotou-se o modelo de malha grossa para o AGP – Algoritmo Genético com Ilhas (AGI) – que, comparado ao Algoritmo Genético Simples (AGS), demonstrou ser mais robusto, aumentando assim as chances de se obter melhores resultados. Além disso, o AGI é o modelo mais indicado para aplicações em redes convencionais de computadores, evitando o uso de computadores com arquiteturas paralelas de custo elevado.

A computação paralela em sistemas distribuídos é realizada através da passagem de mensagens que será descrita no capítulo 2. Neste capítulo será descrito o ambiente de passagem de mensagens com plataforma portátil denominado MPI, utilizado neste trabalho.

Focaremos também, a validação dos resultados obtidos pela aplicação deste AGI na otimização de um projeto neutrônico, através de comparações com resultados anteriores apresentados por Pereira *et al.* e testaremos a performance do *cluster* instalado no Laboratório de Computação Paralela do IEN em problemas de otimização aplicados ao cálculo de física de reatores. Os resultados, apresentados no capítulo 3, mostram a evidente superioridade do AGI sobre o AGS, não somente em relação ao tempo global de otimização, mas também na qualidade das soluções encontradas.

2. O Algoritmo Genético Paralelo com MPI

2.1. Algoritmo Genético Paralelo

Nos últimos anos, o surgimento de computadores mais velozes e com maior capacidade de memória tem propiciado que várias técnicas computacionais de *software* possam sair de um escopo puramente acadêmico para o mundo real, proporcionando aplicações práticas de grande valor, nas diversas áreas do conhecimento. A exemplo disto, pode-se citar a Computação Evolucionária, uma poderosa técnica de otimização, aplicável a problemas de difícil solução através de técnicas tradicionais, mas que, em contrapartida, demandam um alto custo computacional.

Hoje em dia já são observadas várias aplicações práticas bem sucedidas de AGs em diversos setores da engenharia. Na Engenharia Nuclear tal fato é também observado [4-8]. No entanto, existem aplicações (dentre elas podem-se citar aquelas relacionadas com o projeto e a operação de reatores nucleares) que necessitam da execução de simulações computacionais, cujo custo, por si só, já é relativamente elevado. Nestes casos, como os AGs trabalham com populações de candidatos a soluções, eles esbarram no limite da capacidade de processamento dos computadores geralmente disponíveis (não paralelos).

Uma forma de sobrepujar tal dificuldade está na utilização de arquiteturas computacionais paralelas. No entanto, computadores especialmente projetados para processamento paralelo são de muito elevado, impondo, assim, uma nova restrição à sua utilização. Uma alternativa mais acessível é a utilização de *clusters* de computadores pessoais (PCs) [11], ou, simplesmente usufruir da cooperação entre os computadores de uma rede comum (neste caso, nem toda implementação paralela torna-se eficiente).

Os algoritmos genéticos paralelos (AGPs) podem ser categorizados em 3 diferentes aproximações básicas: Mestre-Escravo, Celulares (malha fina), e Ilhas (malha grossa ou distribuídos). O primeiro modelo é a versão paralela do AGS (canônico), conseqüentemente, ele não altera nem

restringe os operadores genéticos. Neste modelo, somente a avaliação é distribuída pelas máquinas disponíveis. O controle das gerações, seleção e os operadores genéticos não são paralelizados. A figura 1(a) ilustra esta abordagem.

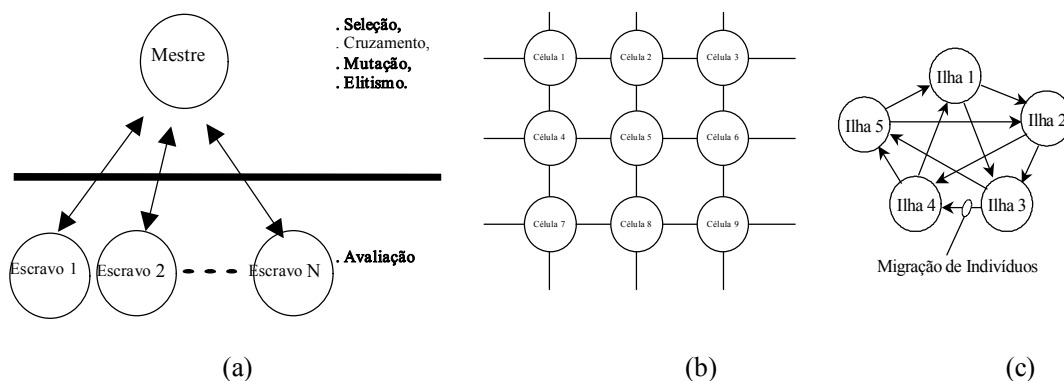


Figura 1 – (a) Modelo Mestre-Escravo, (b) Modelo Celular e (c) Modelo de Ilhas.

No AG celular cada indivíduo da população é colocado em um processador (célula). As células são arranjadas geograficamente (a grade 2-D é a maneira mais comum), como pode ser visto na figura 1(b), e o cruzamento fica restrito a vizinhança. Esta abordagem demonstrou proporcionar mais diversidade do que o AGS, resultando numa melhor exploração do espaço de busca.

O modelo de ilhas é uma abordagem multi-populacional. Cada “sub-população” é, então, localizada em um processador (ilha) que tem o seu próprio processo evolutivo independente. A fim de promover cooperação entre as ilhas, um novo operador, chamado migração, é criado. De acordo com alguma estratégia predefinida, indivíduos migram de uma ilha para outra. São possíveis várias topologias para o AGI. Neste trabalho utilizamos a topologia em anel, ilustrada na figura 1(c). Cada ilha inicia o processo de

busca a partir de sua própria população inicial e, durante algumas gerações, explora alguma parte do espaço de busca. As migrações ocorrem, informações sobre diferentes regiões do espaço de busca são trocadas entre as ilhas, promovendo maior diversidade na pesquisa.

Dentre os modelos existentes de AGPs, o Modelo de Ilhas tem demonstrado considerável eficiência não só devido aos ganhos referentes a tempo de processamento (no caso de múltiplos processadores), mas também na melhoria de resultados em processos de otimização complexos. Além disso, este modelo é o mais propício à execução distribuída, adaptando-se bem a redes comuns de computadores.

2.2. Interface de Troca de Mensagens

Um ambiente de programação via troca de mensagens é formado por uma linguagem

seqüencial (como C e Fortran), que será utilizada na implementação dos programas seqüenciais nos processadores; e a biblioteca de troca de mensagens, a qual fornece as ferramentas necessárias para a ativação e cooperação entre os processos paralelos.

Os ambientes de passagem de mensagens foram desenvolvidos inicialmente para máquinas com processamento maciçamente paralelo (Massively Parallel Processing - MPP). Devido à ausência de um padrão, cada fabricante desenvolveu seu próprio ambiente, sem se preocupar com a portabilidade³ do software gerado. Atualmente, os ambientes de passagem de mensagens foram remodelados considerando-se três grandes objetivos: utilizar o potencial dos sistemas distribuídos no desenvolvimento de aplicações paralelas; permitir a união de plataformas heterogêneas (MPP e/ou redes de estações de trabalho); e permitir a portabilidade das aplicações paralelas desenvolvidas.

Baseados nesses objetivos, vários grupos de pesquisa desenvolveram ambientes de passagem de mensagem independentes da máquina a ser utilizada. Esses ambientes foram chamados de ambientes de passagem de mensagem com plataforma portátil (ou “plataforma de portabilidade”) e puderam ser implementados em várias plataformas (*hardware* + sistemas operacionais). Dois exemplos mais importantes desses ambientes portáteis para equipamentos heterogêneos são: PVM (Parallel Virtual Machine) e MPI.

PVM é um conjunto integrado de bibliotecas e ferramentas de software, cuja finalidade é emular um sistema computacional concorrente heterogêneo, flexível de propósito geral. Como seu próprio nome sugere, permite que um conjunto de plataformas paralelas

heterogêneas conectadas em rede seja utilizado como uma arquitetura paralela de memória distribuída, formando uma máquina paralela virtual.

O PVM fornece as funções que permitem ao usuário iniciar, comunicar e sincronizar tarefas na máquina virtual. Uma tarefa é definida como uma unidade computacional em PVM análoga aos processos UNIX (freqüentemente é um processo UNIX). O modelo computacional do PVM é, portanto, baseado na noção de que uma aplicação consiste em várias tarefas. Cada tarefa é responsável por uma parte da carga de trabalho da aplicação.

O MPI é uma tentativa de padronização, independente da plataforma paralela, para ambientes de programação via troca de mensagens. Surgiu da necessidade de se resolver alguns problemas relacionados às plataformas de portabilidade, tais como restrições em relação à real portabilidade de programas devido ao grande número de plataformas e o mau aproveitamento de características de algumas arquiteturas paralelas.

Uma série de motivos justificam a necessidade de um padrão para esse tipo de sistema: portabilidade e facilidade de uso (à medida que a utilização do MPI aumentar, será possível portar transparentemente aplicações entre um grande número de plataformas paralelas); fornecer uma especificação precisa (fabricantes de *hardware* podem implementar eficientemente em suas máquinas um conjunto bem definido de rotinas); e crescimento da indústria de *software* paralelo (a existência de um padrão torna a criação de *software* paralelo por empresas uma opção comercialmente viável, o que também implica maior difusão do uso de computadores paralelos).

É importante ressaltar que, enquanto o PVM é uma implementação, o MPI é apenas um especificação sintática e semântica de rotinas constituintes da biblioteca de

³ É a possibilidade de executar ou modificar um programa para que possa ser executado em mais de um sistema de computador, ou sob mais de um sistema operacional. Os *softwares* de alta portabilidade podem ser transferidos para outros sistemas sem grandes esforços.

comunicação. Sendo assim, uma análise mais completa do MPI deve ser feita levando em consideração a implementação a ser utilizada. A composição do MPI é definida por um conjunto de 129 rotinas, que oferecem os seguintes serviços: comunicação ponto-a-ponto; comunicação coletiva; suporte para grupo de processos; suporte para contextos de comunicação; e suporte para topologia de processos.

Analisando cada uma das rotinas apresentadas, tem-se:

1 - Comunicação Ponto-a-Ponto e Coletiva: são responsáveis pela ação básica de uma biblioteca de troca de mensagens, que se trata da transferência de uma mensagem. Cada transferência ponto-a-ponto envolve somente dois processos, um transmissor e um receptor.

Rotina *Send()*: Responsável pela transmissão de uma mensagem. É definida por:

send(msg_id, msg, tamanho, destino)

Quando ocorre uma operação de transferência de mensagens, os dados que compõem a mensagem são geralmente copiados em um *buffer*, de onde são transmitidos quando possível. Após a cópia para o *buffer*, as posições de memória (variáveis) onde os dados transmitidos estavam armazenados podem ser reutilizadas sem problemas.

A rotina *Send()* possui diversas variações semânticas, são elas:

***Send()* síncrono**: a rotina só se completa com o recebimento de uma confirmação de que a mensagem foi recebida. Caso contrário, tem-se uma rotina *Send()* assíncrona.

***Send()* bloqueante**: o processo transmissor é bloqueado até que se copie a mensagem para o *buffer* de transmissão.

***Send()* não bloqueante**: o processo transmissor não espera a cópia para o *buffer*. Então, antes de se reutilizar a variável que está sendo enviada, deve-se testar se a mensagem já foi copiada para o *buffer*.

Rotina *Receive()*: responsável pela recepção de uma mensagem. É definida por:

receive(msg_id, msg, tamanho, fonte)

Seguindo as definições do Fórum MPI, pode-se ter:

***Receive()* bloqueante**: a rotina só se completa se a mensagem ativada for recebida.

***Receive()* não bloqueante**: similar à rotina *Send()* não bloqueante, a mensagem é recebida sem o bloqueio da rotina, de maneira que deve-se testar o término da operação antes de sua utilização.

2 - Suporte para Grupos de Processos: O MPI relaciona os processos em grupos, e esses processos são identificados pela sua classificação dentro desse grupo. Por exemplo, suponha-se um grupo contendo *n* processos: estes processos serão identificados utilizando-se números entre 0 e *n*-1. Essa classificação dentro do grupo é denominada *rank*. O MPI apresenta primitivas de criação e destruição de grupos de processos. Então, um processo no MPI é identificado por um grupo e por um *rank* dentro deste grupo.

3 - Suporte para Contextos de Comunicação: são escopos que relacionam um determinado grupo de processos. São implementados para garantir que não existam mensagens que sejam recebidas ambigualmente por grupos de processos não relacionados. Assim, um grupo de processos ligados por um contexto não consegue se comunicar com um grupo que esteja definido em outro contexto. Este tipo de estrutura não é visível nem controlável pelo

usuário e o seu gerenciamento fica a cargo do sistema. Para criação de contextos, o MPI se utiliza do conceito de *communicator*, que é um objeto manuseado pelo programador e relaciona um grupo (ou grupos) de processos com um determinado contexto. Se existem, por exemplo, aplicações paralelas distintas executando em um mesmo ambiente, para cada uma delas será criado um *communicator*. Isso criará contextos distintos que relacionarão os grupos de processos de cada aplicação e evitará que estes interfiram entre si.

4 - Suporte para Topologias: O MPI fornece primitivas que permitem ao programador definir a estrutura topológica com a qual os processos de um determinado grupo se relacionarão. Como exemplo de uma topologia, pode-se citar uma malha, onde cada ponto de interseção na malha corresponde a um processo.

2.3. Modelo de Ilhas aplicado a um Algoritmo Genético Paralelo via MPI

A utilização de *clusters* de estações de trabalho ou microcomputadores (PCs) vem recebendo grande aceitação recentemente devido ao custo relativamente baixo, à facilidade de atualizações, à utilização de *hardware* e *software* "abertos" e à independência de fornecedores e licenças de importação.

O Laboratório de Computação Paralela do IEN segue a filosofia dos sistemas de computação paralela e distribuída do tipo *Beowulf* [6]. As principais características dos *clusters* de computadores do tipo *Beowulf* são a utilização de sistema operacional *freeware*, como Linux ou FreeBSD, e o emprego de rede de comunicação dedicada exclusivamente ao sistema. Em geral, a comunicação do sistema computacional com o mundo exterior é feita através de um único nó (*Front End*). O *cluster* do IEN possui 16 PCs, com processadores Pentium 4 de 3.0 Ghz com

tecnologia HT, 16 Gb RAM. O desempenho de pico (*peak performance*) excede 50 Gflop/s (1 Gflop/s equivale a 10^9 operações de ponto flutuante por segundo). Os computadores são conectados em topologia estrela através de uma rede Gigabit Ethernet de 1000 Mb/s. O sistema operacional utilizado é o Linux.

Com relação à quantidade de comunicação requerida por cada um dos modelos apresentados no item 2.1, observa-se que o AGI é o que requer menos (muito menos) troca de informações entre os processadores. Portanto, este modelo é o mais indicado para ser implantado em sistemas distribuídos. Como a plataforma computacional disponível é uma rede local convencional, escolhemos o AGI.

3. Simulação Computacional

3.1. O Problema

Como o principal objetivo deste trabalho é demonstrar a potencialidade da ferramenta computacional disponível no Laboratório de Computação Paralela do IEN, utilizaremos os resultados obtidos num trabalho anterior [3], comparando os modelos AGS e AGI com relação aos tempos de processamento e soluções encontradas. Brevemente, o problema abordado consiste em minimizar o fator de pico médio f_p , de um reator tipo PWR cilíndrico com 3 zonas de enriquecimento, considerando que este deve permanecer crítico ($k_{\text{eff}} = 1.0 \pm 1\%$) e submoderado, provendo um dados fluxo médio ϕ_0 . Então, o problema de otimização pode ser escrito como:

$$f_p(R_f, \Delta_c, R_e, E_1, E_2, E_3, M_f, M_c)$$

Sujeito as seguintes restrições:

$$\phi(R_f, \Delta_c, R_e, E_1, E_2, E_3, M_f, M_c) = \phi_0; \quad (1)$$

$$0.99 \leq k_{\text{eff}}(R_f, \Delta_c, R_e, E_1, E_2, E_3, M_f, M_c) \leq 1.01; \quad (2)$$

$$\frac{dk_{eff}}{dV_m} > 0; \quad (3)$$

$$R_{fmin} \leq R_f \leq R_{fmax}; \quad (4)$$

$$\Delta_{cmin} \leq \Delta_c \leq \Delta_{cmax}; \quad (5)$$

$$R_{emin} \leq R_e \leq R_{emax}; \quad (6)$$

$$E_{1min} \leq E_1 \leq E_{1max}; \quad (7)$$

$$E_{2min} \leq E_2 \leq E_{2max}; \quad (8)$$

$$E_{3min} \leq E_3 \leq E_{3max}; \quad (9)$$

$$M_f = \{UO_2, \text{ ou } U\text{-metálico}\}; \quad (10)$$

$$M_c = \{Zircaloy-2, \text{ Alumínio ou Aço-304}\} \quad (11)$$

onde V_m é o volume do moderador e os subscritos *min* e *max* referem-se aos limites inferior e superior dos parâmetros, cujas faixas encontram-se na tabela 1.

Tabela 1. Faixas de variação dos parâmetros de projeto

Parâmetro	Símbolo	Faixa
Raio do combustível (pol.)	R_f	0.2-0.5
Espessura do encamisamento (pol.)	Δ_c	0.01-0.1
Espessura do moderador (pol.)	R_e	0.01-0.3
Enriquecimento da zona 1 (%)	E_1	2.0-5.0
Enriquecimento da zona 2 (%)	E_2	2.0-5.0
Enriquecimento da zona 3 (%)	E_3	2.0-5.0
Material do combustível	M_f	UO_2 ou U -metálico
Material do encamisamento	M_c	<i>Zircaloy-2, Alumínio ou Aço-304</i>

Para a avaliação da plataforma computacional do IEN, realizamos vários experimentos comparando o AGI com o AGS. Nesta comparação consideramos um número igual de avaliações para os dois modelos, isto é, para um AGS com população de 200 indivíduos, o AGI equivalente terá 4 ilhas contendo uma população de 50 indivíduos cada. Além disso, consideramos um critério de parada de 500 gerações e as ilhas conectadas em anel, com o melhor indivíduo migrando a cada 10 gerações.

Para cada configuração de população, computamos 10 experimentos com diferentes parâmetros genéticos, tais como: cruzamento, taxa de mutação e sementes de geração randômica por ilha.

Na Tabela 2, apresentamos os resultados dos 10 casos obtidos para os modelos AGS e AGI, calculados a partir de uma ferramenta genérica desenvolvida em linguagem *Java*, denominada ProGenIS [12], para arquitetura cliente-servidor através de soquetes, e aqueles obtidos do AGI, calculados a partir programa MITIGA com a interface de troca de mensagens MPI (AGIM), que utiliza a biblioteca de classes GACLSLib [13], desenvolvido no IEN em linguagem C++.

Este resultados mostram que além do ganho significativo relativo ao tempo total de processamento para o processo de otimização, as soluções encontradas foram melhores. Isto mostra que a manutenção da diversidade proporcionada pelo modelo de ilhas pode ter refletido na melhoria do resultado da otimização. Observa-se portanto, que o AGI apresenta resultados ligeiramente melhores, que podem ser atribuídos às configurações dos parâmetros genéticos ou polarização da população inicial nos 10 experimentos feitos.

Tabela 2. Comparação entre o AGS, o AGI e o AGIM em 500 gerações.

Caso	P=50		P=100		P=200			P=400		
	AGS	AGS	AGI	AGIM	AGS	AGI	AGIM	AGS	AGI	AGIM
			(2 Ilhas ^a)			(4 Ilhas ^a)			(8 Ilhas ^a)	
1	1.2895	1.3612	1.3565		1.3578	1.3322	1.3173	1.2849	1.2993	1.2782
2	1.3596	1.3057	1.3249		1.3065	1.2799		1.2791	1.2793	1.2792
3	1.4138	1.3737	1.3249		1.3057	1.3378	1.3189	1.3169	1.2776	1.2804
4	1.3432	1.3737	1.2847		1.3287	1.2835		1.3235	1.2996	1.3062
5	1.3662	1.3308	1.3666		1.2889	1.2810	1.2804	1.3204	1.2824	1.3039
6	1.2879	1.3097	1.2795		1.3020	1.2796		1.3102	1.2804	
7	1.3164	1.3149	1.2825		1.3082	1.2784		1.3352	1.2788	1.2783
8	1.3404	1.3090	1.3523		1.3367	1.3034	1.3162	1.3084	1.2808	1.2801
9	1.3541	1.30002	1.3066		1.3214	1.2989	1.2804	1.2993	1.2990	1.3072
10	1.3256	1.30032	1.3627		1.3328	1.3170	1.3162	1.3463	1.2839	1.2855
Média	1.3397	1.3282	1.3241		1.3189	1.2992		1.3124	1.2861	
Tempo (h)	1.4	3.2	1.4	0.3	6.6	1.4	0.3	14.1	1.4	0.3

4. Conclusões

Este trabalho mostra a importância de se ter disponível uma ferramenta computacional como a que se encontra instalada no Laboratório de Computação Paralela do IEN. Tomando como base a utilização da computação evolucionária que, para problemas de otimização complexos são grandes demandantes de tempo de processamento, os resultados encontrados demonstram que além do ganho de tempo, houve uma melhora na eficiência do processo de otimização.

Agradecimentos

Cláudio M. N. A. Pereira é patrocinado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq.

Referências

1. Cantú-Paz E., "Efficient and Accurate Parallel Genetic Algorithms", *Kluwer Academic Publishers*, ISDN 0792372212, Boston (2000).
2. [W. Gropp, E. Lusk e A. Skjellum, "Using MPI: Portable Parallel Programming with the Message Passing Interface", MIT Press (1994).
3. Pereira C. M. N. A. e Lapa, C. M. F., "Coarse-Grained Parallel Genetic Algorithm Applied to a Nuclear Reactor Core Design Optimization Problem", *Annals of Nuclear Energy*, Vol.30, pp.555-565 (2003).
4. Pereira, C. M. N. A. , Schirru, R. e Martinez, A. S. , "Basic Investigations Related to Genetic Algorithms in Core Designs", *Annals of Nuclear Energy*, Vol.26, n.3, pp.173-193 (1999).
5. Sampaio, P. A. B., Lapa, C. M. F. Jospin, R. J., Pereira, C. M. N. A., Moreira, M. L., Lapa, N. S., Nery, D. S. e Mol A. C. A., "Computação de Alto desempenho no Instituto de Engenharia Nuclear", ENFIR (2000).
6. Chapot J.L.C., Silva F.C., Schirru R., "A New Approach to the Use of Genetic Algorithms to Solve Pressurized Water Reactor's Fuel Management Optimization Problem", *Annals of Nuclear Energy* Vol. 26(7), pp.641-655 (1999).

7. Lapa C.M.F., Pereira C.M.N.A. e Mol A.C.A., “Maximization of a Nuclear System Availability through Maintenance Scheduling Optimization Using Genetic Algorithm”, *Nuclear Engineering and Design*, **Vol.196**, pp. 95-107 (2000).
8. Lapa C.M.F., Pereira C.M.N.A. e Frutuoso e Melo P. F., “An Application of Genetic Algorithms to Surveillance Tests Optimization of a PWR Auxiliary Feed-Water System”, *International Journal of Intelligent Systems* **Vol.17 (8)**, pp.813-831 (2002).
9. Alvarenga M.A.B., Martinez A.S., Schirru R., “Adaptive Vector Quantization Optimized by Genetic Algorithms for Real-Time Diagnosis through Fuzzy Sets”, *Nuclear Technology* **Vol.120(3)**, pp.188-197, 1997.
10. Cantú-Paz E. e Goldberg D.E., “Efficient Parallel Genetic Algorithms: Theory and Practice”, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, **Vol.186**, pp.221-238 (2000).
11. “The Beowulf Project”, <http://www.beowulf.org>, (2005).
12. Pereira, C. M. N. A. , ProGenIS: Programmable Genetic Island System – Uma Ferramenta Genética para Desenvolvimento de Algoritmos Genéticos Paralelos Utilizando o Modelo de Ilhas: Apresentação do Sistema e Estado de Desenvolvimento Atual, *Relatório Técnico* – IEN-SETER-07/01 (2001).
13. Pereira, C. M. N. A. , GACLSLIB: Genetic Algorithm Class Library – Uma Biblioteca de Classes para Desenvolvimento de Algoritmos Genéticos sob Paradigma de Orientação a Objetos, *Comunicação Técnica*, IEN-SETER-01/00 (2000).