

Otimização de Portfólios de Projetos em Empresas Geradoras de Energia

João Meidanis, Maria Angélica Lopes de Souza, Paulo Viadanna Jr.
Scylla Bioinformática, Brasil

Arnaldo Vieira Moura, Celmar Guimarães da Silva
Universidade Estadual de Campinas, Brasil

Cleber Mira
Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul, Brasil

Gabriel Alves da Costa Lima
AREMAS, Brasil

Rafael Schmitz
AES Tietê, Brasil

1. INTRODUÇÃO

Empresas de geração de energia precisam controlar uma vasta coleção de equipamentos para atender às demandas do seu negócio. Os equipamentos necessitam de manutenção, tanto preventiva quanto corretiva, planejada de acordo com diretrizes pré-estabelecidas. A empresa AES-Tietê desenvolveu uma metodologia para gerir seus ativos, com base em cinco diretrizes básicas: disponibilidade, confiabilidade, segurança, meio-ambiente e imagem da empresa. Todos os anos, equipes saem a campo para diagnosticar os chamados “pontos de atenção”, que representam situações de risco, ligados a um equipamento específico, e graduados tendo em vista cada uma das diretrizes básicas. Estas notas graduadas são numericamente transformadas em um valor que representa o risco total do ponto de atenção. Projetos são então propostos e executados para eliminar ou diminuir tais riscos. A definição de quando esses projetos serão executados é ponto chave para a eliminação de riscos da forma mais antecipada possível, e está limitada à disponibilidade de verba anual para sua execução.

2. OBJETIVOS DO TRABALHO

O produto principal do trabalho aqui descrito foi um software para otimizar a alocação destes projetos ao longo do tempo, de forma a eliminar o máximo de risco no mínimo de tempo e satisfazendo a todas as restrições operacionais da empresa. O sistema é alimentado com todos os pontos de atenção observados em todas as usinas geridas pela empresa, e com todos os projetos propostos por ela. Também são fornecidos limites de gastos para cada ano. O programa então sugere uma alocação dos projetos no tempo, obedecendo a todas as restrições impostas. Os portfólios selecionados podem ser editados, comparados e analisados através de gráficos de custos e riscos, gerados pelo sistema, até obter-se uma solução que os gestores considerem adequada.

Um objetivo adicional desta pesquisa é o de prover meios interativos, com ênfase em visualização, para auxiliar a análise e alteração de portfólios. Parte-se do princípio que os envolvidos no processo de escolha podem ter informações adicionais relevantes sobre os projetos e que não tenham sido modeladas no software otimizador. Desta forma, é preciso disponibilizar representações interativas dos portfólios, de

modo que os tomadores de decisão possam facilmente mover projetos ao longo do tempo e verificar os impactos destas ações nos custos mensais do portfólio e em seus riscos.

As próximas seções deste artigo estão organizadas da seguinte forma: a Seção 3 descreve o trabalho realizado, relatando o desenvolvimento da pesquisa, a metodologia utilizada para otimização, a especificação técnica do software e ainda a abordagem proposta para o uso de visualização interativa dos dados envolvidos no problema de alocação de projetos; a Seção 4 apresenta os resultados e benefícios auferidos com o uso do software; por fim, a Seção 5 apresenta conclusões sobre os resultados já obtidos e aponta trabalhos futuros.

3. DESCRIÇÃO DO TRABALHO REALIZADO

3.1 Desenvolvimento da Pesquisa

A pesquisa foi desenvolvida em várias etapas ao longo de três anos. No primeiro ano, foram colhidas as informações sobre todos os processos de diagnósticos da empresa, bem como sobre os processos de elaboração dos projetos e de tomada de decisão. A partir destas informações, um primeiro protótipo do software otimizador foi construído, cujo objetivo era propor uma alocação de projetos de forma a eliminar riscos o mais cedo possível atendendo a todas as restrições de custos anuais. Neste protótipo, todas as informações sobre pontos de atenção e projetos eram fornecidas através de uma única planilha em um formato fixo pré-definido [1].

Após o desenvolvimento deste protótipo e de seu uso pelos profissionais da AES-Tietê, observou-se que era imprescindível haver uma separação entre os pontos de atenção e os projetos, por vários motivos, elencados a seguir. A equipe que realiza o diagnóstico junto às usinas trabalha nos primeiros meses de cada ano para identificar, ou atualizar, todos os pontos de atenção. Posteriormente, nos meses de março e abril, aproximadamente, os encarregados das usinas e seus assessores próximos trabalham para elaborar projetos que eliminem os riscos apontados durante o diagnóstico. Finalmente, a partir de maio, as equipes de gestão de riscos, juntamente com a diretoria, trabalham para selecionar portfólios de projetos, que nada mais são do que alocações destes projetos ao longo do tempo, balanceando a eliminação dos riscos com as restrições de investimento e de custos operacionais da empresa.

Desta forma, facilitaria separar a entrada de dados, criando-se um sistema com um módulo para a entrada de pontos de atenção, que seria usado mais intensamente em janeiro e fevereiro; outro módulo para a entrada de projetos, para uso mais concentrado em março e abril; e um terceiro módulo para otimização, edição e comparação de portfólios, que seria mais intensamente utilizado de maio a setembro, quando da finalização do orçamento para o próximo quinquênio. Assim, uma segunda versão do sistema foi desenvolvida com base nesta separação entre pontos de atenção, projetos e portfólios, os quais podem agora ser entrados, criados e editados independentemente.

Devido à necessidade de prover uma melhor compreensão dos resultados gerados pelo módulo de otimização, parte da pesquisa atual voltou-se para a proposição de formas interativas de representação de portfólios, baseadas em visualização de informação. Esta área de estudo propõe o uso de representações gráficas e interativas de dados, visando facilitar compreendê-los [2]. O módulo de otimização gera portfólios passíveis de análises, alterações e de comparações pelas equipes de gestão de riscos, de forma a se obter o máximo de eliminação de riscos no menor tempo possível.

A pesquisa vem se desenvolvendo visando prover formas facilitadas de se efetuar essas tarefas.

3.2 Otimização de portfólios

Descrevemos aqui brevemente a metodologia utilizada, salientando as especificidades do problema real tratado, e apresentamos a especificação técnica do produto, adaptada às condições de operação da empresa. Apresentamos, ainda, a metodologia de pesquisa que vem sendo seguida pela equipe para a

geração de gráficos interativos para representação e edição de portfólios. Há uma clara preocupação com a visualização das soluções, de forma a transmitir o máximo de informação aos gestores através de gráficos e da interface do usuário, para fornecer ferramentas simples de usar e de entender. Alguns exemplos de visualizações podem ser vistos nas Figuras 1 e 2.

A alocação de projetos no tempo de forma otimizada tem sido estudada há um longo tempo, com aplicações em diversas áreas do conhecimento [3,4]. Há trabalhos usando tanto heurísticas como métodos exatos de otimização. Múltiplas variantes do problema possuem características específicas. Contudo, não há na literatura trabalhos que tratem da particular versão do problema real que aqui estudamos, com toda a sua especificidade. Certas características de nosso problema o tornam único como, por exemplo, a ligação entre projetos e pontos de atenção, com seus riscos associados, e cuja soma deve ser minimizada. Em nossa formulação, que segue a prática adotada na empresa, o risco de um ponto de atenção só é eliminado após o término da execução de todos os projetos associados a ele.



Figura 1 – Gráfico mostrando a eliminação gradual do risco ao longo do tempo, risco este eliminado pela finalização de projetos apropriados. A Área sob a Curva de Risco é a área em azul.

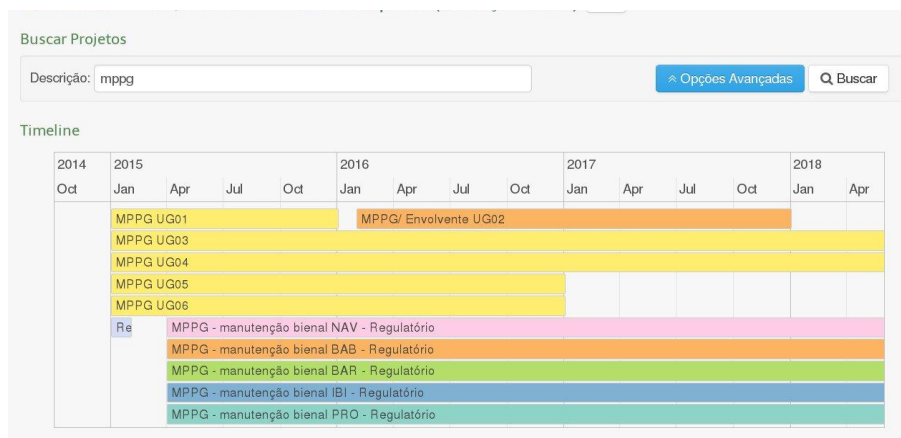


Figura 2 - Gráfico de Gantt exibindo projetos de manutenção de unidades geradoras nas diversas usinas.

3.2.1 Metodologia empregada na otimização

Após uma compreensão adequada do problema, decidimos modelar o problema usando programação linear inteira mista (MILP) [5,6], uma vez que se dispõe de solucionadores eficientes de modelos MILP, tanto de uso livre, como o *GNU Linear Programming Toolkit* (glpk), como produtos comerciais, como o *IBM ILOG Optimization Studio* (Cplex). A seguir expomos detalhes do modelo linear adotado.

Os parâmetros que formam uma instância de entrada do problema são:

- Um conjunto de projetos, P ;
- Um conjunto de pontos de atenção, W ;
- O horizonte de planejamento H , em anos;
- Para cada ano a , $1 \leq a \leq H$, $L[a]$ indica o limite de custos que podem ser incorridos no ano a .

Em meses, o horizonte de planejamento seria então $M=12H$.

Para cada ponto de atenção w no conjunto W temos:

- Um número real positivo $riskval[w]$, que mede o risco associado ao ponto de atenção w ;
- Um subconjunto de projetos $control[w]$, com todos os projetos que controlam a eliminação do risco associado ao ponto de atenção w .

Para cada projeto p no conjunto P temos:

- Sua duração em meses, $dur[p]$;
- Para todo mês m , $1 \leq m \leq dur[p]$, o custo do projeto p no mês m é indicado por $c[m,p]$.

Os custos de execução de um projeto p são indicados pelos valores $c[m,p]$ para $1 \leq m \leq dur[p]$. No entanto, para facilitar a escrita de restrições no modelo, definimos $c[m,p]=0$ para os meses m com $dur[p]+1 \leq m \leq M$. Assim, se p iniciar em um mês k as contribuições de p para os custos em meses $1 \leq m \leq M$ podem ser levadas em consideração simplesmente adicionando-se $c[m-k+1,p]$ aos demais custos presentes no mês m . Já a informação em $dur[p]$ é importante, pois se p está entre os projetos que controlam um ponto de atenção w , e se p inicia no mês m , então $m+dur[p]-1$ estabelece um limite inferior a partir do qual o risco associado a w pode ser considerado eliminado. Notamos que isso é válido mesmo quando $m+dur[p]-1 > M$. Como veremos, projetos poderão iniciar até além do horizonte de planejamento, no mês $M+1$, quando então não há mais restrições de custo, de forma que sempre teremos uma solução viável para o problema do portfólio.

As variáveis de decisão do modelo, básicas e auxiliares, para cada mês m , $1 \leq m \leq M$, e todo projeto p em P , são:

- Uma variável binária $z[m,p]$: com valor 1 se o projeto p foi escalonado para iniciar no mês m ;
- Uma variável inteira auxiliar $zmes[p]$, indicando o mês de término da execução do projeto p .

Então temos:

$$zmes[p] = dur[p] - 1 + \sum_{m=1}^{M+1} m \times z[m,p]. \quad (1)$$

Para indicar que só há um mês de início para cada projeto p , impomos as restrições:

$$\sum_{m=1}^{M+1} z[m,p] = 1. \quad (2)$$

Agora precisamos impor as restrições de custo. Lembrando que $c[m,p]=0$ quando $m > dur[p]$, se quisermos calcular a contribuição total dos custos de um projeto p num mês m , $cm[m,p]$, basta somar as seguintes parcelas:

- $c[1,p] \times z[m,p]$, se p inicia no mês m ;
- $c[2,p] \times z[m-1,p]$, se p inicia no mês $m-1$;
- $c[3,p] \times z[m-2,p]$, se p inicia no mês $m-2$;
- ...
- $c[m,p] \times z[1,p]$, se p inicia no mês 1;

E obtemos:

$$c[m, p] = \sum_{k=1}^m c[k, p] \times z[m - k + 1, p]. \quad (3)$$

Assim, o custo no ano a de um projeto p é dado por $ca[a, p]$, onde

$$ca[a, p] = \sum_{m=1}^{12a} cm[m, p]. \quad (4)$$

Portanto, a restrição de custos é

$$\sum_{p \in P} ca[a, p] \leq L[a] \quad (5)$$

para todo ano a , $1 \leq a \leq H$. Ou, usando apenas variáveis básicas,

$$\sum_{p \in P} \sum_{m=1}^{12a} \sum_{k=1}^m c[k, p] \times z[m - k + 1, p] \leq L[a]. \quad (6)$$

Para medir a qualidade de um portfólio, precisamos de um parâmetro numérico que expresse ao mesmo tempo duas ideias fundamentais do problema:

- Máximo de risco eliminado;
- Mínimo de tempo usado para tal.

Após experimentar com diversas medidas, nossa escolha recaiu sobre um parâmetro que chamamos de Área Sob a Curva de Risco (ASCRI), que é calculado da seguinte forma. Dado um portfólio, isto é, uma alocação dos projetos no tempo, pode-se construir uma Curva de Risco ao longo do tempo (veja Figura 2). Esta curva contém os valores de “outstanding risk” (ou: Risco Ainda Não Eliminado) de cada mês dentro de um período considerado, indo até um ponto no futuro onde todos os projetos tenham terminado e, portanto, todos os riscos tenham sido eliminados. Neste ponto, o valor do Risco Ainda Não Eliminado será zero. O parâmetro ASCRI consiste na soma dos valores dos Riscos Ainda Não Eliminados para todos os meses do intervalo de tempo considerado, até o ponto de controle total, onde o risco será zero. Este valor, que representa a área sob a curva de risco, foi usado como métrica a minimizar na busca por uma solução ótima.

Vejamos como este valor contempla as ideias fundamentais do problema. Considere duas soluções, ou portfólios, que sejam iguais em tudo, exceto na inversão de dois projetos, igualmente custosos, ambos com duração de um mês, mas que eliminam pontos de atenção com riscos diferentes. Suponha que não existam recursos para realizar os dois projetos conjuntamente, de forma que os projetos terão que ser realizados um após o outro. Como ambos têm o mesmo custo, as restrições financeiras estarão igualmente satisfeitas, seja qual for o escolhido para ser executado primeiro. Nesta situação, o portfólio que posicionar antes o projeto que eliminar o risco maior, terá uma ASCRI menor que o outro portfólio, pois o Risco Ainda Não Eliminado será menor após a execução do primeiro projeto. Vemos assim que a minimização do parâmetro ASCRI força as escolhas na direção de eliminar riscos maiores o quanto antes, dentro das restrições financeiras.

Lembrando que o risco associado a um ponto de atenção w é dado por $riskval[w]$, o objetivo seria minimizar a soma dos produtos $riskval[w]$ pelo mês de controle do ponto de atenção w , que seria o mês de término mais tardio dentre todos os projetos que controlam w , isto é, projetos em $control[w]$. Ficamos com:

$$\min_{w \in W} \sum (riskval[w] \times \max\{zmes[p] : p \in control[w]\}). \quad (7)$$

Como a função min-max não é linear, usamos variáveis auxiliares $y[w]$, para todo ponto de atenção w , e impomos as seguintes restrições, para todo w em W :

$$y[w] \geq zmes[p], \text{ para todo } p \text{ em } control[w]. \quad (8)$$

E a função objetivo passa a ser:

$$\min \sum_{w \in W} (riskval[w] \times y[w]). \quad (9)$$

Para efeito de otimização do escalonamento de projetos, foram removidos das instâncias dadas todos os projetos ditos mandatórios, isto é, que tinham seus pontos de partida fixados a priori, subtraindo-se também suas necessidades de recursos dos limites anuais informados. Tais projetos mandatórios devem ser iniciados no mês indicado, sendo esta uma das restrições operacionais do problema. Após a remoção, as instâncias de entrada ficaram com, tipicamente, cerca de 110 projetos e 430 pontos de atenção, com uma média de cerca de 3 a 4 projetos controlando a eliminação do risco de cada ponto de atenção.

O modelo linear foi inicialmente codificado na linguagem GNU MathProg, que é parte do pacote glpk. Quando alimentado com dados de uma instância real do problema, o solucionador de modelos lineares do pacote glpk, não conseguiu chegar a uma solução ótima para o modelo do problema. Após cerca de duas horas de execução em uma CPU Intel I5, com relógio de 2.4 GHz, o solucionador ainda apresentava uma distância de cerca de 10% entre os limitantes superior e inferior da solução ótima, e sem indicação de que este intervalo seria fechado em tempo de execução razoável. Este tempo foi considerado inapropriado para que o modelo fosse inserido num software que auxiliasse a tomada de decisões sobre o portfólio.

Em seguida, o glpsol foi usado para compilar o modelo, gerando um arquivo em um formato padrão que pode ser lido também pelo Cplex. Usando as mesmas instâncias reais do problema, o Cplex alcançou uma solução ótima em cerca de 1 minuto, quando executando numa CPU Xeon, com relógio de 3.3 GHz. Em ambos os casos, a necessidade de memória foi modesta, cerca de 150MB. Executando sob o Cplex, portanto, o tempo de 1 minuto foi considerado bastante adequado para produzir o melhor escalonamento dos projetos no portfólio, respeitando todas as restrições operacionais do problema.

Como comentado na sequência, este modelo de programação linear mista já produziu resultados bastante superiores àqueles encontrados quando os engenheiros especializados da empresa buscavam soluções manuais, para as mesmas instâncias reais do problema. Desta forma, a modelagem foi considerada adequada para ser inserida no protótipo do software a ser usado pela empresa.

3.2.2 Especificação técnica do software

Todas as versões produzidas do software obedecem a certos padrões comuns: arquitetura cliente-servidor, acesso via internet, banco de dados subjacente contendo as informações de pontos de atenção, projetos e portfólios, uso de conexão segura HTTPS, senhas e permissões específicas.

Escolhemos a linguagem Python e o framework Django de desenvolvimento para internet para criar os primeiros protótipos, devido à sua característica de desenvolvimento ágil. O sistema que é utilizado hoje na empresa segue esta especificação. Numa continuação do projeto, está sendo desenvolvida uma versão em C# utilizando banco de dados SQL Server, para se adequar às normas internas de TI da empresa. O gerenciador do banco de dados pode ser qualquer um dos mais utilizados no mercado, como PostgreSQL, MySQL, Oracle ou SQL Server, pois não são utilizadas particularidades de nenhum destes sistemas, apenas SQL tradicional. Hoje, os protótipos utilizam PostgreSQL.

Procuramos, na medida do possível, limitar as consultas ao banco de dados e ao servidor, de forma a extrair o máximo de desempenho possível. Usamos a linguagem JavaScript e a metodologia AJAX extensivamente, bem como bibliotecas de terceiros para funções específicas, como gráficos, por exemplo.

3.3 Visualização interativa de portfólios

Adicionalmente ao uso do otimizador apresentado na seção anterior, a equipe vem pesquisando o uso de métodos interativos de otimização, baseados em visualização, para nosso problema de seleção de portfólios de projetos. Esta seção indica como caracterizamos os dados do sistema, seus usuários e as

tarefas que estes últimos desejam fazer com os dados. Ela também define como representar os dados necessários para prover *insights* aos usuários.

3.3.1 Caracterização de usuários, dados e tarefas

Nossa metodologia de desenvolvimento inicia-se com uma análise de quais são os usuários, quais dados serão apresentados, quais tarefas serão feitas com esses dados e que *insights* as visualizações propostas pretendem fornecer aos usuários [7].

Com relação a perfil de usuários, consideramos que nossos usuários são pessoas experientes no domínio do problema e que já resolveram manualmente problemas de seleção de portfólios. Trata-se de usuários que têm colaborado com os autores deste artigo desde o início desta pesquisa para construir e refinar o modelo do problema. São usuários que têm interesse não apenas na solução gerada pelo modelo, mas em soluções alternativas, possivelmente geradas a partir daquelas propostas pelo otimizador. Trabalhar com gráficos de Gantt, de barras e de linhas é algo comum para eles. Supomos que na maior parte do tempo apenas um usuário utilizará o sistema, mas ele pode trabalhar sozinho ou usar o sistema durante uma reunião.

Os principais dados a serem apresentados são projetos, portfólios, pontos de atenção e restrições de custo. Projetos e restrições de custo possuem atributos temporais. Riscos e custos, por sua vez, são dados quantitativos associados aos meses em que ocorrem os projetos a eles relacionados. As restrições de custo, também atreladas ao tempo, são definidas anualmente. Segundo a classificação de tipos de variáveis de Card et al. [2], a grande maioria dos dados é definida como nominal, incluindo o tipo do projeto, o tipo do financiamento (i.e., CAPEX ou OPEX), ser ou não mandatório o projeto, descrições dos projetos e pontos de atenção, entre outros. Além desta classificação, vale destacar a quantidade de dados a serem apresentados, que também impacta na escolha das visualizações a serem usadas. A equipe de pesquisadores estima que instâncias atuais de problemas na AES Tietê podem possuir até cerca de 1300 projetos, de quatro tipos distintos, incluindo projetos mandatórios; e até cerca de 500 pontos de atenção, no total.

Sobre as tarefas a serem feitas por esses usuários, considera-se primeiramente que os tomadores de decisão iniciam suas análises com um portfólio de partida previamente fornecido. As primeiras abordagens do grupo de pesquisa estavam focadas em fornecer um único portfólio otimizado aos usuários. De acordo com a experiência prévia da equipe de pesquisa, os tomadores de decisão desejam não somente analisar este portfólio, mas também compará-lo a outros, analisando suas diferenças. Eles também desejam mover projetos dentro de um dado portfólio, analisar como os riscos e custos mensais do portfólio variam em função destas mudanças e salvar as alterações para futuras análises. É relevante mencionar que nosso algoritmo de otimização altera o início apenas dos projetos de gerenciamento de risco. Contudo, os tomadores de decisão desejam alterar manualmente o início de qualquer projeto, incluindo os de gerenciamento de risco. Assim, comparações a serem feitas devem considerar todos os tipos de projeto e não apenas os afetados por nossa abordagem de otimização.

Em termos de quais *insights* pretende-se oferecer pelas visualizações, partimos da hipótese de que os tomadores de decisão podem necessitar de respostas para ao menos as seguintes questões:

- O que acontece caso se mude a data de início de um projeto? O novo portfólio gerado por esta ação é válido (por exemplo, está dentro do orçamento)? Se não, que restrições foram violadas?
- O orçamento possui verba não usada por um dado portfólio em alguns meses? Isso é desejável? Caso não seja desejável, quais projetos devem ser antecipados visando usar essa verba?
- Quão rápido o risco total se reduz em um portfólio?
- Há muitos (ou poucos) projetos de um dado tipo em um dado intervalo de tempo?
- Há muitos (ou poucos) projetos em uma mesma hidroelétrica em um dado intervalo de tempo?

- Quais as diferenças entre dois (ou mais) portfólios indicados?

Deste modo, devemos prover *insights* sobre os seguintes dados: (1) custos absolutos mensais e anuais de um dado portfólio; (2) custo acumulado anual, por mês, de um portfólio; (3) orçamento mensal e anual disponível; (4) validade do portfólio, com relação ao orçamento disponível; (5) risco geral mensal de um portfólio; (6) restrições não respeitadas em um portfólio; (7) distribuição de tipos de projetos (e hidroelétricas relacionadas) ao longo do tempo em um portfólio; (8) semelhanças e diferenças entre portfólios. Vale considerar que esses *insights* lidam com portfólios válidos e inválidos. Isso é necessário devido aos usuários poderem criar ambos os tipos de portfólios quando adaptam portfólios anteriores (por exemplo, visando adequá-los a restrições não previamente modeladas, ou ainda visando verificar se um dado portfólio pode ser melhorado).

3.3.2 Representação dos dados

De acordo com o conjunto de dados, suas classificações e tarefas relacionadas, e os *insights* desejados, optou-se por definir o uso de dois gráficos interativos interligados: um gráfico sobre custos e riscos, e outro sobre alocação dos projetos ao longo do tempo.

O Gráfico de Custos e Riscos é, na verdade, uma combinação de três gráficos que compartilham o eixo X temporal. O primeiro deles é um gráfico de barras contendo o custo de todos os projetos a cada mês (Figura 3). O segundo gráfico apresenta barras contendo o custo acumulado anual, por mês, com barras azuis (Figura 4). Indica, ainda, em quais meses os custos acumulados extrapolaram o orçamento anual e em quanto (barras vermelhas). A cada ano, o fundo em azul claro indica o orçamento previsto, e em tons de rosa o quanto o orçamento extrapolou no referido ano. O terceiro gráfico apresenta, nas linhas, como os riscos previstos são eliminados ao longo do tempo, devido à execução dos projetos (Figura 5).



Figura 3 – Gráfico de Custos e Riscos: custos mensais.

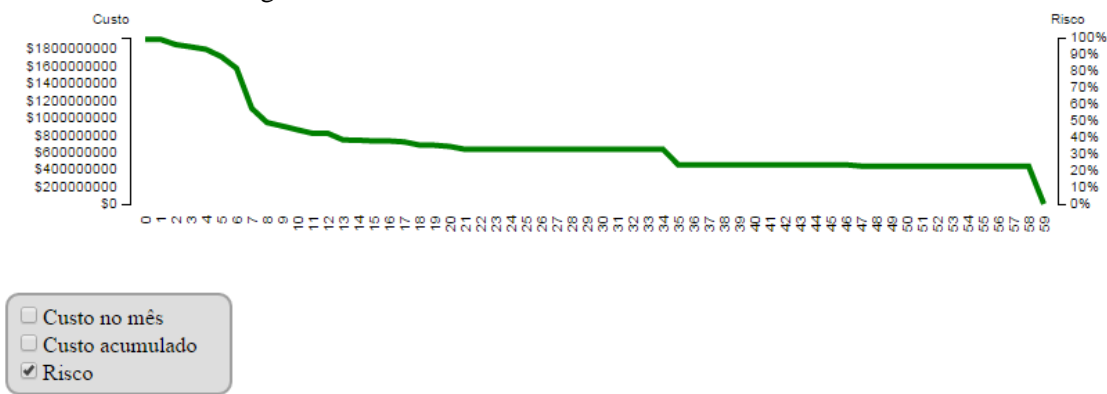


Figura 4 - Gráfico de Custos e Riscos: riscos.

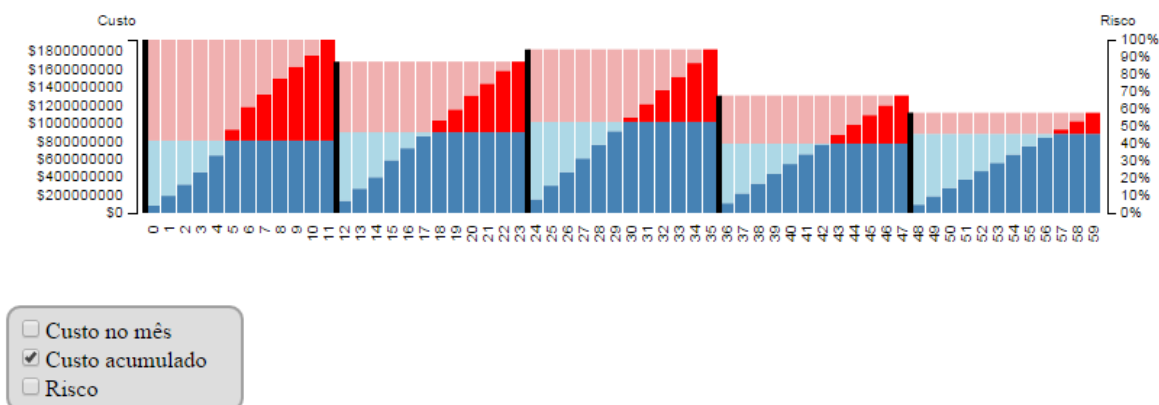


Figura 5 – Gráfico de Custos e Riscos: custos acumulados anuais.

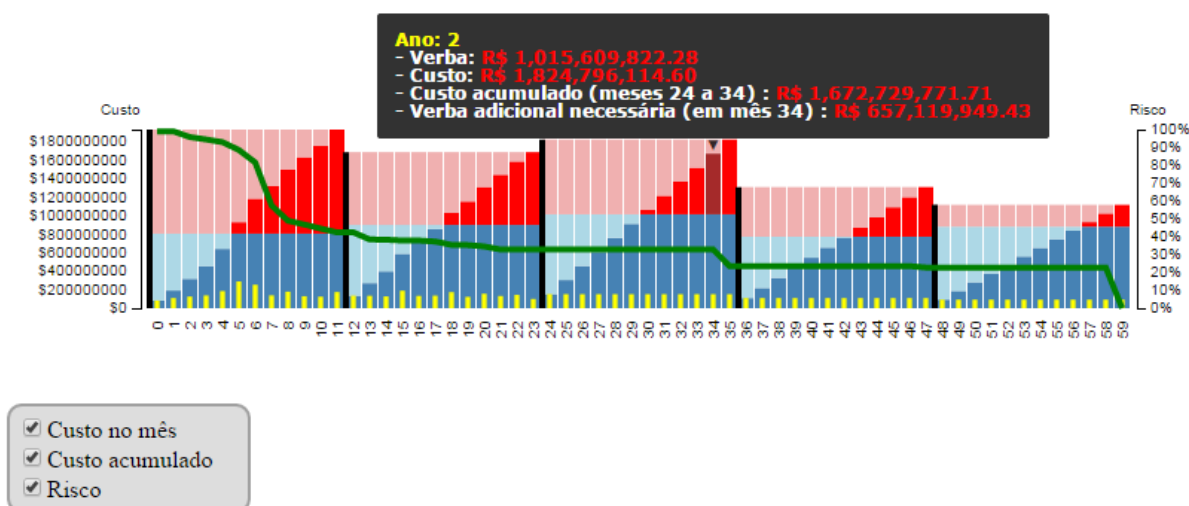


Figura 6 – Gráfico de Custos e Riscos: combinação de custos mensais, custos acumulados anuais e riscos.

Qualquer combinação destes três gráficos pode ser feita de forma interativa por meio de caixas de seleção; por exemplo, a Figura 6 apresenta a combinação de todos eles em um gráfico único. Adicionalmente, detalhes sobre cada valor representado podem ser consultados posicionando o cursor sobre a barra em questão (como exemplificado na Figura 6). Assim, o Gráfico de Custos e Riscos procura prover ao usuário *insights* sobre os dados numerados como 1 a 6 na seção anterior.

É necessário também apresentar a distribuição de projetos ao longo do tempo. Desta forma, criou-se um Gráfico de Alocação de Projetos – um gráfico de Gantt, cujas barras retangulares representam o início e o fim de cada projeto, como exemplificado na Figura 7.

A equipe de pesquisa está atualmente empenhada na continuidade da implementação de aspectos interativos relacionados a ambos os gráficos. Entre eles, pretende-se que o Gráfico de Alocação de Projetos possibilite a realocação de projetos via arraste horizontal das barras que os representam. Adicionalmente, pretende-se interligar o Gráfico de Custos e Riscos e o Gráfico de Alocação de Projetos como visões coordenadas do mesmo conjunto de dados. Deste modo, alterações na alocação de um dado projeto moverão seus custos para outros meses, afetando imediatamente o Gráfico de Custos e Riscos.

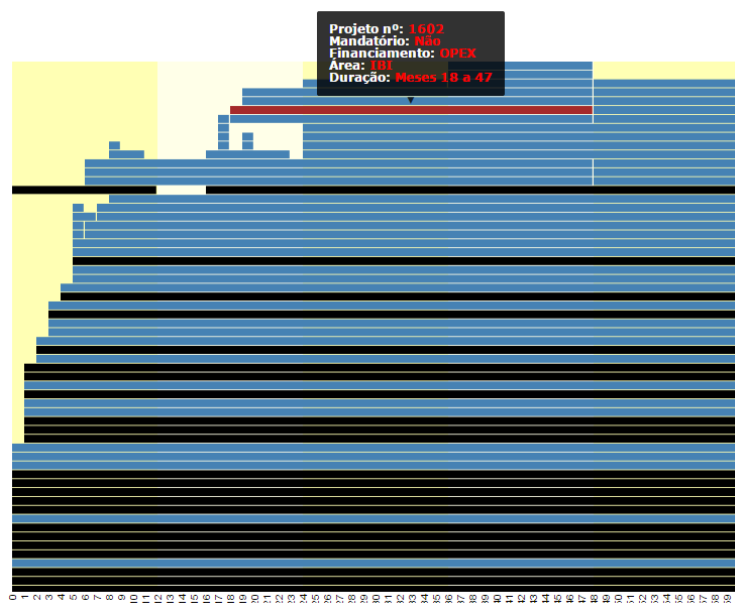


Figura 7 – Gráfico de Alocação de Projetos.

4. RESULTADOS OBTIDOS

O sistema otimiza uma coleção de cerca de 110 projetos, afetando cerca de 430 pontos de atenção, com tempos de execução do otimizador que variam de 1 a 2 minutos. Considerando apenas o critério de disponibilidade de recursos financeiros, com o objetivo de maximizar a eliminação de riscos, as soluções obtidas são consistentemente melhores que as soluções manualmente oferecidas pelos engenheiros, segundo o critério de Área Sob a Curva de Risco (ASCRI), que chega a ser até 47% menor que aqueles obtidos com soluções manuais [8].

Recentemente, por razões operacionais, foi necessário impor um corte profundo nos recursos orçamentários da empresa. O otimizador foi ativado sob estas restrições mais severas. O horizonte de planejamento envolve, em geral, um período de cinco anos à frente. Observando-se os novos portfólios gerados, foi possível constatar que apenas os grandes projetos, que envolviam manutenção de unidades geradoras, muitos deles já contratados, excediam os limites orçamentários em alguns anos específicos.

Um efeito colateral importante é que o sistema passou a funcionar como um centralizador de informações sobre pontos de atenção identificados e de projetos elaborados. Anteriormente, estas informações eram retidas em planilhas, as quais eram passadas de indivíduo para indivíduo dentro da empresa, sem garantia de que todos estavam utilizando a mesma versão das planilhas, por conta de edições individuais localizadas. Com o uso da ferramenta computacional, passou a existir um local único onde estão presentes as versões mais recentes e atualizadas dos pontos de atenção já identificados e dos projetos a eles associados.

Existe ainda implantado no software o conceito de “portfólio oficial”, que é crucial à área de Gestão de Riscos por permitir o acompanhamento diário dos valores de risco, tanto da empresa em geral, como de cada usina específica. Conforme projetos vão terminando e eliminando ou atenuando riscos, esta informação é atualizada diariamente pelo software, e é imediatamente refletida nos gráficos de controle de riscos disponíveis.

4.1 Métricas e Indicadores

Antes da implantação do software, o processo envolvia: planilhas de pontos de atenção; planilhas de projetos, por área regional; junção de planilhas efetuada manualmente; movimentação dos projetos no tempo de forma manual, até se atingir um portfólio aceitável; uma planilha independente para cada portfólio; e comparação entre portfólios dificultada.

Após a introdução do software, o processo passou a envolver: informação sobre pontos de atenção e projetos centralizada no mesmo sistema; sugestão de portfólio otimizado; edição de portfólios; vários portfólios candidatos convivendo no sistema; possibilidade de comparação entre portfólios; e re-otimização de portfólios com outros parâmetros.

O processo de passagem de um modo de operação para outro será gradual. Apesar do software já estar em uso na empresa, as planilhas também continuam sendo utilizadas. Isto proporciona uma forma de validação dos resultados obtidos pelo módulo otimizador, e também assegura uma transição sem sobressaltos.

4.2 Trabalhos futuros

Para que o produto possa ser ainda mais útil, é necessário levar em conta outras restrições para a alocação de projetos, relacionadas a questões como sazonalidade de projetos, paradas de máquinas e *deadlines* de eliminação de pontos de atenção. Estas restrições estão incorporadas no software como critérios de avaliação posterior de soluções. O ideal é incorporá-las como restrições para o otimizador, o que está sendo paulatinamente adicionado ao produto.

Para formar uma ideia do trabalho envolvido nesta última tarefa, considere as restrições sazonais. Há projetos que só podem ser conduzidos em períodos mais secos do ano. Outros devem ser levados adiante apenas em períodos de cheia. O processo pelo qual os projetos são propostos precisa ser adequado para que estas informações sejam incluídas nos formulários. Ademais, é necessário criar configurações no software que indiquem quais são os meses de chuva e de seca, o que pode variar de região para região.

Outra limitação importante diz respeito à parada simultânea de unidades geradoras em uma mesma usina e também em usinas diferentes, mas relacionadas. Por exemplo, se duas usinas estão próximas e fornecem energia para uma mesma região geográfica, é necessário seguir as regras existentes, impostas pelo Operador Nacional do Sistema, sobre as paradas simultâneas de máquinas nas usinas consideradas, de modo a garantir o atendimento da região em questão. Outro caso em que é necessário considerar com cuidado a parada simultânea de geradores é quando as usinas estão posicionadas no mesmo rio, uma após a outra. A parada de uma unidade geradora pode implicar em deixar correr a água que passaria pela máquina através de um vertedouro, para evitar transbordamento do reservatório. Isto não configura desperdício se esta água vertida for utilizada pela próxima usina rio abaixo. Porém, se várias usinas no mesmo rio tiverem máquinas paradas e precisarem verter água, pode configurar-se um problema de desperdício. Novamente, existem regras do Operador Nacional do Sistema que devem ser seguidas nesta situação.

A aplicação efetiva destas regras requer informação precisa sobre os momentos de paradas de máquinas dentro de um projeto. No momento, estamos levantando estas informações e associando-as aos projetos correspondentes, de forma que o banco de dados utilizado pelo software tenha acesso a estes momentos de parada e volta de máquinas para avaliar as regras a serem seguidas.

Finalmente, existem restrições de tempo (*deadlines*) para a eliminação de certos riscos. Os pontos de atenção na empresa são classificados em toleráveis, moderados e intoleráveis. Pontos toleráveis de atenção têm até seis anos para serem eliminados, após sua detecção inicial. Pontos de atenção moderados devem ser eliminados em até quatro anos a partir de sua primeira detecção. E pontos de atenção intoleráveis devem ser eliminados em no máximo dois anos após sua detecção inicial.

Estas restrições impõem limites sobre os projetos que atuam na eliminação destes riscos.

5. COMENTÁRIOS FINAIS

Os primeiros protótipos do sistema têm sido usados na empresa, trazendo maior agilidade na coleta de dados. Contudo, ainda há vários pontos que precisam de ajustes, os quais são percebidos à medida que o protótipo vai sendo usado, principalmente na tomada de decisões. Há intenção de incluir informações sobre consumo de homens-hora por projeto, de modo a permitir a criação de cronogramas de execução de projetos que levem em conta mais este parâmetro. Diversas restrições na alocação dos projetos, que hoje são detectadas pelo software, mas ainda não são efetivamente consideradas na otimização, deverão ser validadas pelos usuários e passarão a impor novas restrições para o módulo otimizador.

Trabalhos futuros também considerarão como simplificar a visualização de projetos no Gráfico de Alocação de Projetos, tarefa esta auxiliada pela utilização de filtros visuais. Esses filtros podem ser usados para manter na visualização, por exemplo, apenas projetos mandatórios, ou ainda apenas projetos que envolvam uma dada hidroelétrica. Adicionalmente, é preciso verificar formas visualmente relevantes de evidenciar semelhanças e diferenças entre portfólios.

Agradecemos à ANEEL e à AES-Tietê pelo financiamento do projeto, esta última também por compartilhar dados e tempo de seu pessoal para a realização deste projeto, dentre os quais citamos especialmente Ítalo Freitas pela coragem, determinação e confiança no projeto, e Renato Bossolan, pelas inúmeras horas gastas neste projeto, sempre com qualidade e generosidade. Ao Gabriel Lima e ao Fábio Dotto, por tornarem o projeto possível. E à Scylla Informática, por fornecer equipamento e banda de rede para a instalação dos primeiros protótipos.

6. REFERÊNCIAS

- [1] MIRA, C. & FEIJÃO, P., & SOUZA, M. A. & MEIDANIS, J. & LIMA, G. & SCHMITZ, R. & BOSSOLAN, R. P. & FREITAS, I. T. “A GRASP-based heuristic for the project portfolio selection problem”, *Proc. CSE 2012 - IEEE 15th International Conference on Computational Science and Engineering*, pp. 36-41, Dez. 2012.
- [2] CARD, S. K. & MACKINLAY, J. D. & SHNEIDERMAN, B. (Eds.). *Readings in Information Visualization: Using Vision to Think*. Morgan Kaufmann Publishers Inc., USA (1999).
- [3] CARAZO, A.F. & GOMÉZ, T. & MOLINA, J. & HERNÁNDEZ-DÍAZ, A. G. & GUERRERO, F. M. & CABALLERO, R. “Solving a comprehensive model for multiobjective project portfolio selection”, *Computers & Operations Research*, vol. 37, pp. 630-639, Abr. 2010.
- [4] HERROELEN, W. & LEUS, R. “Project scheduling under uncertainty: Survey and research potentials”, *European Journal of Operational Research*, vol. 165, pp. 289-306, Set. 2005.
- [5] NEMHAUSER, G. L. & WOLSEY, L. A., *Integer and Combinatorial Optimization*, John Wiley & Sons Inc., New York, New York, 1999.
- [6] BERTSIMAS, D. & TSISIKLIS, N. *Introduction to Linear Optimization*, Athena Scientific, Belmont, Mass., 1997.
- [7] KULYK, O. & KOSARA, R. & URQUIZA, J. & WASSINK, I. “Human-centered aspects”. In KERREN, A. & EBERT, A. & MEYER, J. (Eds.), *Human-Centered Visualization Environments*, Lecture Notes in Computer Science, vol. 4417, pp. 13-75, Springer, 2007.
- [8] MIRA, C. & VIADANNA JR., P. & SOUZA, M. A. & MOURA, A. V. & MEIDANIS, J. & LIMA, G. & BOSSOLAN, R. “Project scheduling optimization in energy generation plants”, Instituto de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil, Relatório Técnico IC-14-11, Jul. 2014.