

Seis modelos baseados em agentes para o pré-sal

O que uma frota, um espaço aéreo, um enxame, um vazamento, um leilão e uma base de suprimentos têm em comum é que nenhum deles pode ser compreendido uma peça por vez. Notas da calibração de seis motores contra operações na Bacia de Santos e na Margem Equatorial.

Um sistema de produção do pré-sal é geralmente descrito como uma conquista de engenharia, e de fato é. Mas a parte que consome dinheiro dia após dia não é a engenharia. É a coordenação: uma embarcação fretada esperando por uma janela de tempo que fechou uma hora antes de sua chegada; um helicóptero aterrado em Jacarepaguá deixando três setores parados que ninguém tem capacidade de absorver; um estaleiro doméstico cuja carteira de pedidos cresceu mais rápido que sua capacidade de entrega, três anos antes que alguém o chamasse de problema de compliance.

Esses são todos efeitos de interação. Cada um é produzido por vários tomadores de decisão agindo com informações parciais, sob restrições que não compartilham, em uma cadência definida por algo fora de seu controle. E efeitos de interação são precisamente o que as ferramentas de planejamento convencionais removem. Um otimizador de inteiros mistos dimensionará uma frota perfeitamente para um padrão de demanda que você o fornece, e não lhe dirá que o padrão de demanda é em si uma função da frota — que uma frota ligeiramente pequena demais produz unidades de baixa cobertura, que produzem viagens de emergência com carga parcial, que consomem a capacidade que teria evitado a próxima. Uma planilha multiplicará uma meta de conteúdo local por um valor de aquisição e lhe dará uma exposição a penalidades, e não lhe dirá que o próprio mandato foi o que gerou a fila.

A modelagem baseada em agentes não é um otimizador melhor. Ela responde a uma pergunta diferente. Em vez de perguntar qual é o melhor plano sob suposições, ela pergunta o que realmente acontece quando um conjunto de agentes segue suas próprias regras em um ambiente que impõe resistências. A saída não é um único ótimo, mas a forma de uma resposta — onde se encontra o ponto de inflexão em uma curva de custo, qual a largura de uma janela operacional estável, qual intervenção move o resultado e qual meramente move a contabilidade. Seis desses modelos são descritos abaixo, cada um com uma descoberta que não era óbvia antes da execução do modelo.



Fase I

Logística offshore: o hub compra uma embarcação, não uma milha

O problema de suprimento da Bacia de Santos é uma frota de PSVs (platform supply vessels) atendendo dezesseis locais — quatorze unidades de produção e três unidades de perfuração móveis na configuração base — a partir de uma base em terra a aproximadamente 150 milhas náuticas de distância, através de um estado de mar que impede a transferência de carga acima de 2,5 m de altura de onda significativa. O diesel é apenas parte da carga: água de perfuração, salmoura, lama, produtos químicos e carga containerizada competem pelos mesmos tanques e convés, e são modelados como um múltiplo de três vezes o volume de diesel.

Os agentes são as embarcações, executando uma máquina de cinco estados, desde ociosa, passando por carregamento, saída, descarga e retorno; as plataformas, cada uma com um tanque, uma taxa de consumo heterogênea e um gatilho de reabastecimento expresso em dias de cobertura; um navio-tanque hub nas duas arquiteturas de hub; e um estado de mar autorregressivo que restringe a transferência e retarda o trânsito. As embarcações constroem viagens de forma gulosa a partir das unidades com menor cobertura e recusam-se a navegar com menos de 45% da carga, a menos que algo seja genuinamente crítico — que é como um agendador real se comporta, e o que impede uma frota superdimensionada de operar em cargas parciais.

Custo por dia-poço, milhas cumulativas navegadas e horas cumulativas de desabastecimento

Bacia de Santos, dezesseis unidades incluindo três unidades de perfuração móveis, horizonte de 90 dias, média de oito seeds. Stockout é horas-plataforma com estoque zero somadas em toda a frota.

Frota	Caso 1 · direto	Caso 2 · hub fixo	Caso 3 · hub autopropelido
3 embarcações	US\$526k · 28k nm · 9.977 h	US\$168k · 19k nm · 3.072 h	US\$158k · 19k nm · 2.880 h
4 embarcações	US\$224k · 41k nm · 4.146 h	US\$24k · 28k nm · 269 h	US\$27k · 29k nm · 310 h
5 embarcações	US\$58k · 51k nm · 930 h	US\$16k · 32k nm · 81 h	US\$18k · 32k nm · 108 h
6 embarcações	US\$41k · 57k nm · 565 h	US\$21k · 33k nm · 136 h	US\$20k · 33k nm · 118 h
8 embarcações	US\$28k · 60k nm · 240 h	US\$22k · 34k nm · 93 h	US\$21k · 33k nm · 69 h

O resultado não óbvio está na forma das colunas, e não em uma única célula. O suprimento direto não é apenas um pouco pior que o hub; é pior de uma forma que só se resolve adicionando embarcações. Com três embarcações, a arquitetura direta não é meramente cara a 526.000 USD por dia-poço, ela está falhando — quase dez mil horas-plataforma sem diesel ao longo de noventa dias. São necessárias cinco embarcações para reduzir isso para 930 horas. O hub fixo atinge um nível de serviço melhor do que isso com quatro embarcações, em 269 horas, e o faz navegando 28.000 milhas náuticas em vez de 51.000. A intensidade de emissões cai com isso, de 41–46 kgCO₂e por metro cúbico entregue para cerca de 35.

99 O hub não vence sendo mais barato por milha. Ele vence fazendo uma frota de quatro embarcações entregar o que uma frota de cinco embarcações entrega, e o faz navegando aproximadamente 40% menos milhas.

A segunda descoberta é negativa, e vale a pena mencionar porque é o tipo de coisa que um fornecedor entusiasmado omite. O hub autopropelido — a arquitetura mais sofisticada, reposicionando-se diariamente em direção ao centroide de demanda ponderado pela cobertura — não é significativamente melhor do que o hub fixo para esta geometria de cluster. Com cinco embarcações, ele custa 18.000 USD por dia-poço contra 16.000, com 108 horas de desabastecimento contra 81. A diferença está dentro do ruído seed-to-seed. Sua vantagem cresce com a heterogeneidade da demanda, o que nesta bacia significa número de sondas e intensidade de sondas: aumente o número de unidades de perfuração móveis ou seu múltiplo de consumo e o hub fixo começa a ficar no lugar errado.

O que uma equipe de planejamento faria diferente: parar de negociar o tamanho da frota como uma questão de afretamento anual e começar a tratá-lo como uma decisão conjunta com a arquitetura de suprimentos. O custo de afretamento da quinta embarcação e o custo de afretamento de um hub mais um feeder são da mesma ordem de magnitude; a diferença entre eles é de 23.000 milhas por ano e cerca de um quinto do carbono da cadeia de suprimentos. E antes de se comprometer com um hub autopropelido, execute a sensibilidade da intensidade da sonda, porque essa é a única condição em que ele compensa.



Fase I

Aviação: a capacidade de recuperação vale mais do que o preço do combustível

A rede de troca de tripulação é modelada como um grafo direcionado ponderado. Três bases em terra — Jacarepaguá, Cabo Frio e Maricá — têm preços locais de Jet-A1 e limites diários de movimentação. Dois clusters offshore geram demanda de pessoal a bordo em uma rotação de quatorze dias, com um pico no meio da semana. Aeronaves de asa rotativa pesadas e médias possuem assentos, taxas de bloco, alocações de setor e um estado de disponibilidade que eventos técnicos não programados podem interromper.

A seleção da base é o mecanismo interessante. Em vez de atribuir cada setor à base mais barata, o modelo se baseia em um logit sobre o custo generalizado – custo do bloco mais combustível ao preço da base de partida, ponderado pela afinidade da tripulação e da hangaragem. Essa é uma

descrição melhor de como os programadores realmente se comportam, e tem uma consequência: a rede responde a uma mudança de preço suavemente, em vez de mudar abruptamente. Quando o Jet-A1 em Maricá é descontado em 10%, a participação de movimento da base sobe de 25,2% para 27,6%. Real, mensurável e muito menos do que uma atribuição de menor custo preveria.

A descoberta mais ampla é sobre interrupção. Na linha de base — três aeronaves pesadas e quatro médias ao longo de sessenta dias — o atraso médio de passageiros é de 3,19 horas, a utilização é de 80%, e há dois cancelamentos. Desative a heurística de recuperação de aeronaves sob uma taxa de interrupção elevada e os cancelamentos aumentam de dois para setenta e três, enquanto o custo total aumenta em apenas 0,38m USD. Essa lacuna entre um resultado operacional catastrófico e um financeiro modesto é a própria descoberta: o custo da má recuperação não aparece no orçamento da aviação. Ele aparece como tripulações retidas além de sua rotação, o que é um problema de retenção e conformidade que nenhuma linha de custo de aviação captura.

O que uma equipe de aviação faria diferente: medir e defender a capacidade de reagendamento diretamente, em vez de tratá-la como um resíduo do programa de voos. O modelo coloca aproximadamente 3,0m USD de fretamento ad-hoc e atraso evitados na mesa ao longo de sessenta dias, contra um custo de recuperação de cerca de 6.200 USD por setor absorvido. E ao negociar combustível em uma base secundária, espere uma fração da mudança de movimento que uma planilha promete, porque slots, afinidade e tipo de aeronave se prendem antes do preço.



Fase III

Enxames de AUV: a quantidade ótima de comunicação não é a máxima

A inspeção submarina com uma frota de veículos autônomos tem um instinto de engenharia óbvio por trás dela: dar aos veículos o melhor link acústico que você pode pagar, porque a coordenação exige comunicação. O modelo diz que esse instinto está errado a partir de um certo ponto, e diz onde está o ponto.

Os agentes são doze veículos com baterias, sensores de intensidade ruidosos e modems acústicos, procurando em uma caixa de 2.000 m seis alvos de força de sinal heterogênea. Dois mecanismos são acoplados. Os veículos transmitem seu brilho medido e são atraídos para o par mais brilhante que eles podem realmente ouvir, com atenuação aplicada por salto de rede — uma regra estilo vaga-lume que produz nichos, significando subpopulações estáveis formando-se em torno de alvos distintos sem um controlador central. Separadamente, as tarefas de inspeção são leiloadas por um algoritmo de pacote baseado em consenso, que converge apenas dentro de um componente conectado do grafo de comunicação.

Resposta de alcance acústico

Doze veículos, seis alvos, caixa de 2.000 m, 400 passos, média de seis sementes. O índice de nicho é o número efetivo de subpopulações estáveis.

Alcance	Cobertura	Nicho	Fragmentos	Maior componente	Regime
50 m	25%	1.45	9.5	24%	Fragmentado, quase estático
100 m	25%	1.46	8.0	33%	Fragmentado
250 m	33%	2.03	4.0	50%	Nicho
400 m	31%	1.77	1.8	65%	Nicho, fechando
600 m	22%	1.30	1.3	85%	Superacoplado
800 m	8%	0.50	1.2	92%	Convergência global

A cobertura não é monotônica em relação ao alcance de comunicação. Ela atinge um pico de 33% a 250 m e colapsa para 8% a 800 m — pior do que o caso fragmentado a 50 m. O índice de nicho conta a mesma história de forma mais nítida, atingindo um pico de 2.03 e caindo para 0.50 à medida que o enxame deixa de manter qualquer estrutura de subpopulação. Enquanto isso, o maior componente conectado cresce monotonicamente de 24% para 92% da frota. Por qualquer métrica de engenharia de rede, a configuração de 800 m é a melhor. Pela métrica que importa, é a pior.

99 A 800 m, o enxame está quase perfeitamente conectado e quase completamente inútil. Cada veículo ouve o alvo mais barulhento, cada veículo vai até ele, e cinco dos seis ativos nunca são inspecionados.

O mecanismo é analítico, não incidental. Para N veículos distribuídos em uma caixa L por L , o limiar de conectividade do grafo geométrico aleatório é $r_c = L \cdot \sqrt{\ln N / (\pi N)}$, o que para doze veículos em uma caixa de 2.000 m é 513 m — cerca de um quarto da escala característica do campo. Abaixo disso, o grafo se fragmenta e as subpopulações são sustentáveis; acima disso, o grafo é efetivamente completo, o consenso se torna unânime, e a unanimidade em um problema de busca significa que todos buscam no mesmo lugar. Os três regimes decorrem desse limiar: fragmentado e quase estático abaixo de aproximadamente 100 m, uma janela de nicho de cerca de 200 a 500 m, convergência global superacoplada acima de aproximadamente 600 m.

O que uma equipe subsea faria diferente: especificar o alcance de comunicação como uma variável de design com um ótimo interior, não como um requisito de maximização sujeito ao orçamento, e defini-lo em relação ao tamanho do campo e à contagem de veículos, em vez de em metros absolutos. Um enxame de vinte e quatro veículos na mesma caixa tem um limiar diferente e precisa de uma configuração diferente. Também reformula a aquisição — um modem com potência de transmissão controlável por software vale mais do que um modem com um alcance nominal maior.



Fase II

Resposta a derramamentos: a estação decide o resultado, a frota decide a recuperação

A configuração da Foz do Amazonas modela um derramamento de 8.000 m³ ao longo de três dias a partir de um local a 175 km da costa, monitorado por quarenta dias como seiscentas partículas Lagrangianas. O transporte é impulsionado pela Corrente Norte do Brasil, dado um perfil transversal da plataforma com pico perto da quebra da plataforma, e por um campo de vento sazonal definido pela posição da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Durante os primeiros quatro meses do ano, a ZCIT está ao sul e os

alísios carregam um forte componente em direção à costa; a partir de julho, a zona migrou para o norte, o vento se reorienta para o mar, e a recirculação de anéis desvia o óleo superficial para o mar. As embarcações de resposta são agentes com velocidade de trânsito, janelas de skimming limitadas por clima e noite, e uma de duas regras de alocação.

Forçamento sazonal versus alocação de resposta

Foz do Amazonas, 8.000 m³ em três dias, 175 km da costa, 40 dias, 600 partículas, média de doze sementes. O landfall é o dia mediano de chegada à praia.

Configuração	Contaminação da linha costeira	Intrusão no setor fluvial	Aterrissagem mediana	Recuperado
JFMA · mancha mais próxima (SDS)	43.9%	12.1%	14.3 d	0.51%
JFMA · MAS-CoPSO	44.1%	12.0%	14.3 d	3.31%
JASO · mancha mais próxima (SDS)	11.6%	3.4%	20.8 d	0.56%
JASO · MAS-CoPSO	11.9%	3.6%	20.9 d	3.82%

Leia a tabela por coluna e a conclusão é inequívoca. A estação move a oleação da costa de cerca de 44% para cerca de 12% e empurra a aterrissagem mediana do dia 14 para o dia 21. A estratégia de alocação move a oleação da costa em um quinto de um ponto percentual, o que é ruído. O que a alocação realmente move é a recuperação: de 0,51% para 3,31% durante a estação adversa, um fator de seis e meio, e de 0,56% para 3,82% na estação favorável. A alocação cooperativa pontua as atribuições candidatas pelo volume recuperável em vez de proximidade, desconflita embarcações entre manchas para que seis embarcações não convirjam para o mesmo local, e lidera o campo de deriva em vez de persegui-lo.

99 A estratégia de alocação muda o que é recuperado, não para onde o óleo vai. Uma frota de resposta é um instrumento de mitigação, e uma janela de perfuração é um instrumento de prevenção. Eles não são substitutos.

É importante ser direto sobre os números absolutos. Mesmo a melhor configuração aqui recupera mecanicamente menos de 4% do vazamento. Isso é consistente com a experiência de incidentes reais e é o enquadramento honesto para uma conversa de licenciamento: a recuperação mecânica é um instrumento marginal, e argumentar o contrário perante um regulador ambiental prejudica a credibilidade que é difícil de reconstruir.

O que uma equipe de HSE e licenciamento faria diferente: trazer o envelope sazonal para o cronograma de perfuração como uma restrição de primeira classe, em vez de um anexo de contingência, e especificar a capacidade de resposta na doutrina de alocação e no tempo no local, em vez de na contagem de embarcações e capacidade nominal dos skimmers. O atraso na resposta importa mais do que o tamanho da frota, porque a emulsificação colapsa a recuperabilidade em poucos dias, independentemente de quanta capacidade de bombeamento eventualmente apareça.



Fase IV

Rodadas de Licenciamento: a preferência é uma disciplina para o licitar, não apenas um caminho para o patrimônio

No regime de partilha de produção de oferta permanente, o bônus de assinatura é fixo, então um bloco é concedido com base em um único escalar: a porcentagem de óleo lucro oferecida à União. Esse é o cenário de livro didático para um leilão de primeiro preço de valor comum e, portanto, para a maldição do vencedor. Os agentes são operadores internacionais com orçamentos de capital, taxas de retorno mínimas, sinais geológicos privados de qualidade variável e diferentes posturas de risco; a Petrobras, com um sinal materialmente mais preciso em áreas adjacentes às unidades que já opera e o direito estatutário de assumir a operação com pelo menos 30% nas condições vencedoras; e consórcios transitórios que agrupam orçamento e sinais médios.

Com Brent a 72 USD e oito licitantes internacionais, a participação média de óleo lucro vencedora é de 43,6%, a maldição média do vencedor é de 4,5%, o tamanho médio do consórcio é de 1,29 e a Petrobras encerra o ciclo com 26,7% do patrimônio concedido. Para referência, as concessões reais de partilha de produção brasileiras ficaram em 41,65% para Libra, 31,68% para Atapu, 27,88% para Sépia e 29,96% para Aram, então o modelo se situa no extremo agressivo da faixa observada, e não em um universo diferente.

Duas situações contrafactuais são informativas. Desative a formação de consórcios e a oferta vencedora cai para 42,8% e a maldição cai para 2,2% — porque a média de dois sinais independentes move a avaliação de uma coalizão em direção à verdade, o que tanto aumenta o que ela pode se dar ao luxo de ofertar quanto reduz o quão errada ela está quando vence. Desative o direito de preferência da Petrobras e a oferta vencedora sobe para 44,1%, a maldição sobe para 6,9%, e a participação acionária da Petrobras cai apenas de 26,7% para 25,0%. O efeito na participação é pequeno. O efeito na disciplina de licitação não é.

99 Remover o direito de preferência mal altera a quantidade de área que a Petrobras acaba detendo. Isso muda o quanto os vencedores pagam a mais, de 4,5% para 6,9%. O direito funciona como um mecanismo de informação, não apenas como um privilégio.

A sensibilidade ao preço é convexa, como deve ser quando a margem do contratado é uma diferença de grandes números: mover para Brent 95 USD com onze licitantes eleva a participação vencedora para 59,2% e o patrimônio da Petrobras para 44,2%. Uma rodada programada para um pico de preço dá à União muito mais do que o aumento de preço por si só sugeriria, e expõe os vencedores correspondentemente.

O que uma equipe de estratégia faria diferente: tratar a participação em consórcio como uma decisão de informação tanto quanto de capital, e esperar que uma oferta solo em uma rodada concorrida carregue aproximadamente o dobro da maldição de uma oferta em dupla. E quando o direito de preferência é debatido publicamente, o argumento defensável não é que ele entrega equidade — o modelo diz que mal o faz — mas que ele

disciplina a licitação em um leilão de valor comum onde o estado, em última análise, arca com parte da consequência de um vencedor que pagou a mais.



Fase IV

Ecossistema de fornecedores: um mandato sem capacidade gera penalidades, não conteúdo local

O modelo de conteúdo local coloca vinte e quatro fornecedores domésticos – estaleiros, fabricantes submarinos, escritórios de engenharia e fabricantes de topsides – contra um plano de capital de cinco anos de dez sistemas de produção e quarenta poços. Cada fornecedor tem capacidade finita, uma carteira de pedidos, um nível tecnológico e uma posição de caixa. Os pedidos chegam contra a carteira de pedidos e não contra a produção mensal, de modo que uma equipe de compras pode supercomprometer um estaleiro em cerca de nove meses de trabalho em andamento antes que o risco de cronograma force o equilíbrio para offshore. A conformidade é medida na entrega, não no pedido, razão pela qual uma restrição de capacidade surge como uma falha de conformidade muitos meses após a decisão que a causou.

Política de conteúdo local, plano de cinco anos

Vinte e quatro fornecedores domésticos, sessenta meses, dez sistemas de produção e quarenta poços. Atraso é o deslizamento cumulativo do projeto ao longo do plano.

Política	Conformidade	Penalidades	Prazo de entrega	Atraso	Prêmio
Requisito de 55% (linha de base atual)	60.6%	nenhum	~0 meses	nenhum	12.6%
Requisito de 75%, sem compensação UCL	61.7%	US\$ 459 milhões	8.1 meses	21.5 meses	15.1%
Requisito de 75% com PEDEFOR	69.3%	zero	7.0 meses	9.4 meses	15.8%

Aumentar a exigência de 55% para 75% sem um mecanismo de compensação move a conformidade realizada de 60,6% para 61,7% — aproximadamente nada — enquanto gera 459 milhões de USD em multas, 8,1

meses de prazos de entrega de fornecedores e 21,5 meses de atraso cumulativo do projeto. O mandato não comprou conteúdo local. Comprou uma fila e, em seguida, multou o operador pela fila que ele havia criado.

A mesma exigência de 75% com o mecanismo de crédito PEDEFOR ativo e o investimento duplicado comporta-se de forma diferente: a conformidade atinge 69,3%, as multas caem para zero, os prazos de entrega diminuem para 7,0 meses e o atraso cumulativo reduz-se pela metade para 9,4 meses. O prêmio de custo permanece essencialmente inalterado, em 15,8% contra 15,1%. O instrumento que funciona é aquele que altera a capacidade com um atraso; o instrumento que não funciona é aquele que altera a contabilidade imediatamente.

O que uma equipe de cadeia de suprimentos faria diferente: sequenciar o investimento antes do mandato, em vez de junto com ele. O investimento em tecnologia leva nove meses para se converter em capacidade neste modelo, e a métrica de atraso é monotônica — ela nunca se recupera, apenas para de crescer. Um mandato estabelecido em janeiro contra uma base de suprimentos que não terá capacidade até outubro já comprou seu próprio atraso.

Onde esses modelos são estilizados e onde eles estão errados

Um modelo que é apresentado apenas com suas descobertas é um documento de vendas. Estas são as coisas que um revisor competente encontraria, então é melhor declará-las de antemão.

Os ambientes são sintéticos. O cluster da Bacia de Santos é um anel de unidades espalhadas em um raio de 60 milhas náuticas, não o layout real do campo. O estado do mar é um processo autorregressivo de primeira ordem com um ciclo anual suave, em vez de uma retrospectiva. O campo de corrente da Margem Equatorial é um perfil parametrizado entre plataformas com um termo de vento sazonal, não um modelo de circulação. Estas são as estruturas certas, e não são os dados certos. Cada número absoluto neste artigo deve ser lido como a magnitude e a forma de um efeito, não como uma previsão — a primeira tarefa de um engajamento é substituir o ambiente

sintético por dados operacionais, momento em que os níveis se movem e as formas geralmente não.

As regras comportamentais são mais simples do que as pessoas que representam. O agendador de embarcações é uma heurística gulosa de cobertura mínima com um limite de carga. Agendadores reais reservam slots para campanhas conhecidas, honram prioridades informais entre ativos e sabem qual guindaste de plataforma é pouco confiável. Os licitantes sombreiam por um único parâmetro de aversão ao risco dividido pela raiz quadrada do campo, o que captura a direção da pressão competitiva, mas não a profundidade estratégica de uma rodada de licenciamento real.

Faltam alguns acoplamentos. Logística e aviação compartilham uma contagem de plataformas e nada mais, embora na realidade um cancelamento de helicóptero e um atraso de embarcação de suprimentos compitam pela mesma janela de tempo e pela mesma capacidade de convés. O modelo de fornecedor não tem prazo de entrega de importação nem taxa de câmbio. O modelo de leilão precifica um bloco com base no volume recuperável e em uma suposição fixa de capex por barril, sem considerar a diferença entre um tie-back em águas rasas e um desenvolvimento greenfield.

O modelo de destino de derramamento é deliberadamente grosseiro. A evaporação é uma abordagem de primeira ordem para uma assíntota de hidrocarbonetos leves, a emulsificação entra apenas por meio de um fator de recuperabilidade, e não há dispersante, queima in-situ, nem pluma subsuperficial. O modelo é adequado para comparar estações e doutrinas de alocação. Não é adequado para uma análise de benefício ambiental líquido e não deve ser usado para tal.

O resultado do enxame é o mais robusto e o menos validado. O ótimo interior no alcance de comunicação segue de uma propriedade bem estabelecida de grafos geométricos aleatórios e sobreviveria a uma mudança de parâmetros. Mas nenhuma parte dele foi testada contra uma frota de veículos real, e o modelo de canal acústico — perda aumentando com o quadrado do alcance normalizado em um piso de 3% — é uma abstração de engenharia razoável, em vez de uma medida.

Seis modelos é mais do que qualquer organização deveria adotar de uma vez. A ordem abaixo não é arbitrária: ela vai dos motores com o caminho mais curto para um resultado mensurável e os dados de validação mais limpos, em direção aos que exigem mais confiança e o horizonte mais longo. Cada fase paga pela próxima.

Fase I Logística e aviação

Logística offshore · Rede de aviação

Ambos se baseiam em dados que a Petrobras já possui — movimentos de embarcações, manifestos de helideques, leituras de tanques, faturas de combustível — e ambos produzem um número que aparece em um orçamento dentro de um ciclo de planejamento. São também os motores onde uma resposta errada é mais barata de detectar, porque a própria operação fornece validação contínua.

O QUE A FASE ENTREGA

Um tamanho de frota defensável e arquitetura de suprimento para um cluster, com a intensidade de emissões associada, e um valor precificado para a capacidade de recuperação de aeronaves.

Fase II HSE e suporte a licenciamento

Trajetória e resposta do derramamento

A conversa sobre licenciamento da Margem Equatorial não é principalmente sobre custo, então não deve ser vendida com base no custo. Seu valor é que ela converte um argumento qualitativo sobre risco sazonal em um argumento quantificado, em um formato que uma agência ambiental e um conselho podem ambos ler. É um facilitador para o programa de perfuração, em vez de uma economia.

O QUE A FASE ENTREGA

Um envelope de exposição sazonal para um local específico, uma especificação de capacidade de resposta defensável e a sensibilidade de ambos ao atraso na resposta.

Fase III Inspeção autônoma

Enxame de AUVs

É aqui que a modelagem deixa de ser um exercício de custo e se torna uma diferenciação técnica. A descoberta de que a conectividade tem um ótimo interior não é óbvia, não está em nenhuma especificação de fornecedor e muda como uma frota de veículos deve ser adquirida e configurada. É também a fase com o horizonte mais longo, então não deve carregar o caso comercial.

O QUE A FASE ENTREGA

Uma especificação de comunicação e tamanho de enxame para um escopo de inspeção definido, com a penalidade de cobertura de errar em qualquer direção quantificada.

Fase IV Postura de licitação e ecossistema de fornecedores

Rodadas de Licitação · Ecossistema de fornecedores

Aconselhamento estratégico, e a fase que requer a maior confiança, pois os resultados afetam o posicionamento comercial e a política pública. Segue naturalmente uma vez que os motores operacionais foram validados contra a realidade, e é onde estão os maiores números — um ponto de profit-oil ao longo de um ciclo, ou uma base de suprimentos que entrega em vez de pagar multas.

O QUE A FASE ENTREGA

Uma visão quantificada de quanto da maldição do vencedor é estrutural, e uma política de conteúdo local que separa a capacidade industrial da conformidade regulatória.

A disciplina que faz isso funcionar é a validação em cada fronteira. A Fase I termina com uma comparação de movimentos de embarcações modelados e reais, eventos de estoque zerado e cancelamentos de voos em um período definido — não porque o modelo precise corresponder a cada dia, mas porque a direção e a magnitude de suas respostas devem se sustentar. Se não o fizerem, a resposta honesta é consertar o modelo ou parar, e é muito mais barato descobrir isso em uma questão de dimensionamento de frota do que em uma estratégia de licenciamento.

A outra disciplina é recusar-se a começar com a Fase III. O resultado do enxame de AUVs é o mais interessante neste artigo e o menos imediatamente

útil. Um programa que começa com veículos autônomos recebe um orçamento de pesquisa e um horizonte de dezoito meses; um programa que começa com uma decisão de dimensionamento de frota que vale vários milhões de dólares por ano, e a entrega, consegue falar sobre autonomia a partir de uma posição de competência demonstrada.

O que os seis têm em comum

Em cada um desses seis problemas, a intervenção que uma análise estática recomenda não é a que funciona. Adicionar uma embarcação não é a maneira mais barata de corrigir um nível de serviço; mudar a arquitetura de suprimentos é. Combustível mais barato em uma base secundária não move a rede tanto quanto a aritmética sugere, porque a afinidade e os slots limitam primeiro. Um modem acústico melhor pode piorar um enxame. Uma frota de resposta maior não protege uma costa que a estação já decidiu. Remover um direito de preempção não muda significativamente quem detém a área, mas muda o que os vencedores pagam. Um mandato de conteúdo local mais alto não produz conteúdo local a menos que a capacidade de entregá-lo tenha sido construída primeiro.

Nenhuma dessas afirmações é exótica. Cada uma delas seria reconhecida imediatamente pelas pessoas que executam essas operações. O que os modelos adicionam é a capacidade de colocar um número nelas, de mostrar onde a resposta muda de caráter e de testar uma intervenção antes de alocar capital a ela. Esse é todo o argumento para construí-los.