

Brumadinho: entre a prudência e a probabilidade, a tragédia

Brumadinho: between prudence and probability, tragedy

Laerte Idal Sznelwar¹, Mauro Zilbovicius¹, Cláudio Marcelo Brunoro¹,
Bernardo Luiz Rodrigues de Andrade¹, José Roberto Castilho Piqueira¹

RESUMO | Será possível, em algum momento no futuro, explicar com exatidão o que aconteceu no caso do rompimento da barragem de Brumadinho? Apesar de, muitas vezes, se utilizar a palavra exatidão no mundo da engenharia, sabe-se que, em muitos casos, trata-se de um eufemismo. A arte da engenharia consiste em projetar, construir, implementar e gerenciar diferentes tipos de sistemas que podem trazer consequências tanto positivas como negativas para os trabalhadores, para a sociedade, para o meio ambiente. Aconteceu um evento ou uma sequência de eventos que levou ao rompimento. A engenharia de barragens de rejeitos conhece e é capaz de controlar todos os eventos passíveis de acontecer e que, articulados, podem levar ao rompimento? Há dois caminhos: primeiro, o conhecimento total; a engenharia conheceria tudo e seria capaz de projetar de modo a evitar, com certeza, todos os eventos nocivos. Segundo: a engenharia não conhece a totalidade dos fenômenos, mas sabe que, fazendo como sempre se fez (com o conhecimento empírico) e com margens de segurança grandes, a probabilidade de rompimento se aproxima de zero. Ninguém projeta uma barragem para que ela se rompa. Mas se projeta uma barragem sem dominar na totalidade os eventos que podem ocorrer. Quando se conhece a totalidade da situação, o que deve ser feito para evitar o rompimento é 100% conhecido — e precificado. Entretanto, isso nunca acontece, a probabilidade de ocorrência de eventos nunca é completamente conhecida, eles não são determinísticos e a incerteza é um fato.

Palavras-chave | acidentes de trabalho; probabilidade; estresse psicológico; ergonomia; engenharia.

ABSTRACT | Will it be possible, sometime in the future, to exactly explain what happened in the dam failure in Brumadinho? Although word “exactness” is often used within the world of engineering, it is often known to be an euphemism. The engineering art consists in projecting, building, implementing and managing different types of systems which might have both positive and negative consequences for workers, society and the environment. Some event or series of events culminated in the dam failure. Is tailings dam engineering aware of and able to control all possible events which together might cause a failure? There are two possible paths: one involves absolute knowledge — engineering has absolute knowledge of everything and is able to design projects in a way to avoid any harmful event. According to the other, while engineering does not have absolute knowledge of all the phenomena, its traditional know-how (empirical knowledge) and wide margins of safety make the odds of dam failure come close to zero. No one projects a dam just to fail. But dams are projected without absolute control of all possible events. When the entire situation is known, all that should be done to avoid failures is 100% known — and the price fixed. However, this never happens, the probability of the occurrence of events are never completely known, they are not deterministic and uncertainty is always a fact.

Keywords | accidents, occupational; probability; stress, psychological; ergonomics; engineering.

¹Escola Politécnica, Universidade de São Paulo – São Paulo (SP), Brasil.

DOI: 10.5327/Z1679443520190414

INTRODUÇÃO

Os objetivos deste artigo estão voltados para o questionamento. Enunciar questões pode nos ajudar a encontrar caminhos que nos permitam compreender fatos que já ocorreram, mas sobretudo encontrar caminhos para que se possa trabalhar com uma perspectiva mais promissora para o futuro.

Modelos matemáticos sofisticados que levassem em conta todas as variáveis que interferem no processo de represamento de rejeitos poderiam apontar o processo em curso e o instante em que o rompimento poderia se dar? Não se dispõe de modelos¹ e, empiricamente, fazendo conforme “as boas práticas de projeto e manejo” de barragens de rejeito, isto é, conforme o sucesso do passado, temos o mesmo estado final: a estabilidade da barragem por conta das margens de segurança de projeto e dos processos de manutenção². Qual seria a probabilidade de ocorrência de um evento catastrófico³? Essa probabilidade pode ser ou não conhecida: rejeitos podem sofrer liquefação em algum ponto próximo da barragem, degradando a capacidade de contenção. E isso pode acontecer em algum instante que não se pode precisar.

Mas o que teria acontecido em Brumadinho? Um erro (ou vários erros) de projeto, erros de manutenção? Fato é que a engenharia não conhece todos os eventos; e mesmo que conheça, não controla seu desenrolar. Para evitar eventos perniciosos à estabilidade dos taludes, lança mão, como os antigos, da empiria e das margens de segurança. O que quer que seja que está acontecendo no interior da represa não compromete a barragem porque as margens de segurança de pressão, espessura, altura etc. estão de acordo com as boas práticas.

Isto já é suficiente? Ainda não, porque as boas práticas e as margens estão contidas em limites de ordem superior: o orçamento de capital que é investido na barragem. Capex e Opex vinculados a barragens de rejeitos não produzem valor. Precisam ser reduzidos ao mínimo necessário para que, em futuro previsível, barragens não rompam. A engenharia dos romanos, dos egípcios, dos incas, dos astecas, dos maias e dos chineses era uma engenharia empírica, de boas práticas e de margens de segurança suficientes para que produtos dessas engenharias sobrevivam até nossos dias. Qual é o aprendizado decorrente dessas constatações?

Assim, barragens, sem modelos precisos de planejamento e manejo, cujos projetos se sustentam em práticas do passado e margens que são submetidas a dietas orçamentárias austeras, sem argumentos científicos e técnicos que se sobreponham a

essas dietas, têm sua probabilidade de rompimento tanto maior quanto maior for a austeridade orçamentária. Enfim, é impossível tudo conhecer, incluindo aquilo que jamais se pensou e pode ocorrer. As abordagens científicas mais recentes têm isso como base, como é o caso da Teoria da Complexidade^{4,6}.

É necessário colocar em evidência quais são os pressupostos que entram nas discussões que definirão o que será feito, como será feito e qual a relação entre custos e benefícios que se está buscando nos projetos de engenharia. Uma das questões que se colocam diz respeito a quando começa e quando termina um determinado projeto. Como considerar o empreendimento em seus diferentes aspectos, incluindo a questão do tempo, a questão dos riscos e de suas consequências⁷? De qualquer maneira há que se questionar quais pressupostos norteiam as racionalidades que estão presentes para a concepção, para o projeto, para a implementação e para a operação em um determinado empreendimento⁸.

Baseados no que ocorreu recentemente em Brumadinho, um acidente de graves proporções, cujas causas remontam a processos decisórios de responsabilidade de alguns atores com poder para tal e convocando conceitos de distintas disciplinas que permitem uma melhor compreensão do acontecido, como as focadas em projetos de produção em engenharia e, de modo mais específico, as focadas em projetos de trabalho, como a ergonomia centrada na atividade^{9,10} e na psicodinâmica do trabalho¹¹, neste artigo propomos uma reflexão e um debate sobre o que dá sustentação a certas práticas e como seria importante considerar aquilo que é deixado de lado. Para tal, visões mais abrangentes em engenharia, assim como em outros domínios, como a proposta pela Teoria da Complexidade, são também convocadas^{5,12}.

ENCADEAMENTO DAS QUESTÕES

A primeira questão que se coloca diz respeito ao fato de haver crime ou não quando se trata de algo dessa monta. Apesar de não sermos especialistas em Direito, há uma aproximação possível. Não nos propomos a responder a essa indagação, uma vez que há questões envolvidas que precisam ser aprofundadas sobretudo com relação aos processos de decisão, à responsabilidade de quem decidiu e como foram considerados os riscos relacionados com o empreendimento em foco.

O rompimento de Brumadinho é um dos maiores acidentes de trabalho conhecidos da história do Brasil, talvez

o maior; trata-se de um dos maiores eventos destruidores com relação ao meio ambiente; trata-se de uma destruição de vários empreendimentos; trata-se do fim da vida para muitos; trata-se da morte de animais e de vegetais.

Quando tratamos desse tipo de acidente, sobretudo no que diz respeito aos acidentes de trabalho, há sempre responsabilidade por parte daqueles que têm poder de decisão; a eles também pode ser imputada a culpa ou dolo pelas escolhas que fizeram ao dirigir as empresas, ao definir os modos de produção, os processos de trabalho e as tarefas. Muitas decisões são baseadas em informações obtidas a partir da intervenção de diferentes atores da própria empresa, de prestadores de serviço e de atores ligados aos processos de fiscalização e de aconselhamento do Estado.

Considerar a responsabilidade dos envolvidos, definir se há crime, culpa ou dolo, definir as possíveis indenizações e condenar pessoas são questões que precisam ser trabalhadas por quem de direito. Chamamos a atenção para esses fatos, mas não temos como opinar de modo consequente a respeito. De qualquer maneira, há escolhas que foram feitas anteriormente ao evento e que devem ser averiguadas; ressalte-se que a omissão é uma escolha também.

OS PRESSUPOSTOS DA SEGURANÇA

As visões mais clássicas relacionadas à industrialização estão baseadas em tentativas de se encontrar relações de causa e efeito que possam explicar os acontecimentos¹³. A ideia de imputar a responsabilidade, estabelecendo que alguém isoladamente agiu para que o evento ocorresse, é uma prática ainda muito disseminada. As análises contêm uma referência a regras e procedimentos que deveriam guiar as ações dos atores sociais nas empresas, mostrando se houve algum desvio de conduta que estaria na gênese do acidente. Portanto, parte-se do pressuposto que os sistemas ou são seguros ou têm mecanismos de controle do risco que, uma vez seguidos, reduziriam em muito a probabilidade da ocorrência de um acidente. O pressuposto principal é que, uma vez seguidas as regras e respeitados os procedimentos, a operação seria segura.

No Brasil, a maioria dos acidentes de trabalho é analisada como se esse fosse de responsabilidade daquele que se acidentou. A culpa recai muitas vezes na pessoa envolvida diretamente na operação, naquele que tem pouco poder de decisão e que, por vezes, não tem como se defender, pois

morreu. O famigerado ato inseguro é considerado como a principal causa de acidentes de trabalho em nosso país. Há que se questionar se, de fato, é possível cumprir os procedimentos para se garantir as operações; se as mais distintas variáveis que compõem os sistemas de produção^{14,15}, ainda mais aqueles que são altamente entrópicos, estão sob controle; e se as instalações, considerando as máquinas e ferramentas de trabalho, estão em condições ótimas de operação. Uma análise pormenorizada em uma situação de produção, mesmo não tendo havido um acidente, na qual sejam consideradas as condições de manutenção, mostra que é muito raro que todas as medidas de manutenção, principalmente o que se considera como abordagens preventivas e preditivas, tenham sido adotadas. Assim as operações são mantidas, tendo em vista que haveria uma certa margem de segurança, em condições não ótimas. Considerar que os acidentes sejam, na maioria das vezes, por falha humana, daqueles que estão diretamente envolvidos nas operações é, no mínimo, uma irresponsabilidade, se for considerada a situação real de produção.

Por outro lado, se forem colocados em discussão os processos decisórios nas empresas, no caso presente da responsável pelas operações de mineração em Brumadinho, é muito provável que se encontrem alguns responsáveis. Há diferentes pessoas que atuam na própria empresa e que se situam em diferentes pontos da hierarquia, como também há nos órgãos de fiscalização e de licenciamento. Quem decide sobre a segurança de uma operação está considerando quais fatores no ato em que permite que a operação seja feita de tal maneira, que tal produção continue, a despeito de condições consideradas como inseguras, que permite a instalação de refeitórios, prédios administrativos, pousadas, entre outros, a jusante de uma barragem e no percurso de uma eventual enxurrada?

ENTRE A PROBABILIDADE E A PRUDÊNCIA

A questão é saber que tipo de abordagem da questão da segurança ajuda a compreender os fenômenos para preveni-los. Ao pressupor que a causa principal seja o ato inseguro no caso dos acidentes de trabalho de menor monta, parte-se do pressuposto que existe um método correto e seguro, que bastaria cumprir os procedimentos. Esse tipo de pressuposto pouco ajuda a mudar os cenários de produção, pois se baseia no fato de que a segurança seria inerente ao

sistema, que os problemas ocorrem porque os trabalhadores não adotam condutas suficientemente confiáveis e que os acidentes ocorrem por desvios de conduta.

Tanto no âmbito daquilo que se costuma tratar como acidentes de menor monta, que infelizmente fazem parte do dia a dia do trabalho de muita gente, como aqueles considerados catastróficos, há que se questionar as escolhas organizacionais. Sempre há aqueles que decidiram por algum tipo de tecnologia, aqueles que optaram por um tipo de divisão do trabalho¹⁶ e aqueles que decidiram manter as operações, mesmo em situações nas quais havia sinais de problema. As escolhas engajam a responsabilidade e, conforme dito anteriormente, a opção por algum tipo de abordagem que assegure que as probabilidades de um acidente são baixas é de regra. Por que será?

Ao tratar de probabilidades, estamos no mundo do conhecido. Os cálculos são feitos com base em dados do passado, naquilo que já se viveu, daquilo que há informações para se poder calcular. Mesmo ao utilizar abordagens mais aprofundadas, ainda se trata do conhecido, daquilo que pode ser extrapolado para aumentar a segurança e não do incerto, dos fenômenos emergentes, do acoplamento desconhecido de variáveis.

Um questionamento com relação a esses cálculos de probabilidade diz respeito àquilo que se colocou na equação. Quais são os tipos de evento que são considerados em uma análise probabilística? Se forem apenas os acidentes anteriores, as falhas que já ocorreram e aquilo que fora detectado, há que se questionar com relação àquilo que não foi considerado, como as questões de manutenção, os pequenos incidentes e as famosas “gambiarra” adotadas para manter as operações.

Mesmo que haja falhas nesse tipo de abordagem, ela não perde importância. A questão é ter claro que não há certeza, não há garantias e que, mesmo havendo um certo grau de extrapolação, a prudência com relação à gestão dos processos produtivos deveria ser a regra principal, sobretudo em sistemas altamente entrópicos.

Uma outra questão diz respeito à própria qualidade dos cálculos probabilísticos que são efetuados. Dificilmente no ambiente empresarial se usam cálculos sofisticados para ajudar nos processos decisórios, aquilo que se apregoa como base para estudos aprofundados e que se usa em pesquisas é complicado e sua utilização requer conhecimento aprofundado. Ainda, os dados estatísticos utilizados precisam ser coletados e tratados com métodos¹⁷ que, muitas vezes, são praticados exclusivamente em ambiente universitário. Nas situações

reais de produção há muitos interesses em jogo, há que se considerar a confiabilidade dos dados e como são interpretados. Não seria surpreendente nos depararmos com situações nas quais havia pequenos sinais de problemas¹⁸, mas que por algum motivo não foram considerados como suficientemente significativos para desencadear alguma ação corretiva.

Uma abordagem baseada na prudência teria outros pressupostos, sobretudo seriam considerados aspectos que são deixados de lado por serem vistos como de menor monta, cujo risco seja considerado pouco significativo. No caso de se agir com prudência, as certezas diminuem uma vez que são evidenciadas as falhas oriundas daquilo que entra como dados para os cálculos; se considera que as operações têm níveis de degradação significativos; se considera que os procedimentos operacionais não dão conta de tudo que se passa na realidade; enfim, os sistemas são definidos como dinâmicos e, por muitos motivos, têm graus significativos de imprevisibilidade¹⁹.

ANÁLISES A POSTERIORI

Ao analisar os acidentes que ocorreram, a ideia é constituir, através de documentos e relatos, uma verdade factual. Isso é impossível. O que pode ser conseguido, e é importante, é um conjunto de visões distintas que poderão ajudar num debate sobre causas. Aquilo que é obtido sempre é distorcido. No caso daqueles diretamente envolvidos, o que se obtém de uma narrativa modulada por um trauma que, quando não causou uma lesão, tinha o potencial de causar. Toda situação traumática causa impactos na memória dos sujeitos. Não se pode imaginar que as narrativas sejam correspondentes aos fatos, exatamente como ocorreram. No caso daqueles que teriam alguma responsabilidade sobre a gestão das situações²⁰, também há o risco de se concentrar o relato naquilo que deveria ser feito e que teria havido um desvio na conduta de alguém e que essa seria a principal causa do acidente.

No caso de mortes, nem se fala, aquele que vivenciou a situação não poderá testemunhar e aqueles que não se acidentaram ou sobreviveram terão também muita dificuldade em construir um relato que seja pautado na sucessão de fatos.

Onde começam e onde terminam os diferentes eventos que deram origem ao acidente? Quem são os atores envolvidos nessas diferentes etapas? Quais informações dispunham para compreender o que se passava em determinada situação? Muitas informações, mesmo que sejam valiosas,

não correspondem efetivamente ao ocorrido; trata-se de aproximações. Isso explica a importância dada pelas ciências do trabalho, como a ergonomia e a psicodinâmica do trabalho com relação ao relato dos envolvidos. Para se decidir com prudência é importante conhecer o real da produção. Portanto, antes que haja um acidente é necessário que as organizações mantenham dispositivos nos quais a expressão dos diferentes trabalhadores envolvidos seja estimulada e considerada nos processos de decisão. A construção de uma narrativa baseada na experiência dos diferentes atores da produção que mostre os problemas que enfrentam, a evolução dos maus funcionamentos e como buscam dar conta das dificuldades para produzir é fundamental nesse tipo de abordagem e permite melhor conhecer o real da produção visando à adoção de estratégias mais prudentes de enfrentamento dos riscos, centradas em processos de transformação da produção. A importância do fato de não se conseguir operar segundo os procedimentos padrão, uma vez que são definidos a partir do modo nominal da produção e não da realidade operacional, é uma grande contribuição da ergonomia centrada na atividade²¹. Se as condutas dos trabalhadores fossem exclusivamente pautadas em procedimentos anteriormente definidos pelas áreas responsáveis, dificilmente a produção seria efetivada. É o caso das conhecidas operações-padrão, utilizadas em movimentos reivindicatórios.

OS CUSTOS E AS FINANÇAS

Nas últimas décadas, a partir do ideário do neoliberalismo e do “gerencialismo”, houve mudanças significativas nas empresas privadas e também nas públicas. Essas mudanças tiveram impactos significativos nas políticas de retorno do investimento, pois estão muito mais centradas no retorno o mais rápido possível para os investidores e, muitas vezes, não têm qualquer interesse naquela produção, exceto o financeiro.

Com esse processo de “financeirização”²², a produção em si perde importância e os gestores se tornam genéricos, são capazes de gerenciar qualquer tipo de produção, contanto que mantenham o foco nas regras que permitam o retorno rápido.

Para conseguir um maior alinhamento dos diferentes atores nas empresas, sobretudo dos gestores de níveis mais elevados, os seus ganhos dependem diretamente dos resultados, principalmente os de curto prazo. Implantar políticas agressivas e mudar de empresa para evitar que se apeguem

faz parte desse ideário. As consequências no que diz respeito à segurança das operações podem ser nefastas.

Qual seria a decisão de um gestor de alto nível se tiver que escolher entre métodos mais seguros e mais custosos ou métodos que são também seguros, mas nem tanto e menos custosos?

Como se trata de uma questão de probabilidade e ela é baixa, mantém-se a mesma maneira de agir. Nessa mesma perspectiva, como não importa tanto o desenvolvimento da produção em si, mas a quantidade produzida, o retorno financeiro, pouco se pesquisa para desenvolver novas técnicas e, também, não há uma perspectiva de projeto de desenvolvimento industrial²³.

É evidente que isso não serve para toda e qualquer empresa, esse tipo de análise tem como base uma visão mais geral e que, infelizmente, se tornou muito prevalente.

Os cenários de produção que antecedem acidentes como o de Brumadinho precisam ser analisados sob uma ótica distinta, uma vez que mudanças no valor de um determinado tipo de matéria-prima e os mais distintos tipo de pressão, seja por parte de governos ou de acionistas das empresas, podem gerar situações muito mais arriscadas, sobretudo porque os investimentos são cada vez mais medidos e avaliados no curto prazo. Se algo der errado, “faz parte do risco do negócio”. Mas não se trata do risco do negócio, se trata das consequências de um determinado acidente, se trata das consequências de se perder conhecimento com relação a diferentes níveis da cadeia de produção, se trata da perda de conhecimento técnico e das reduções das possibilidades para se constituir uma engenharia inovadora em um determinado país ou região, como é o caso do Brasil.

POR UM PENSAMENTO COMPLEXO

O que foi desenvolvido até o presente neste texto, como questionamentos gerais, reforça que ainda há, no mundo da produção e da engenharia, uma prevalência de ideias ultrapassadas, baseadas em epistemologias do século XIX ou ainda anteriores, nas quais o que mais importava era a perspectiva de separar, de fragmentar os fenômenos para poder entender o que se passa e agir.

A importância desse tipo de racionalidade, profundamente baseada nas ideias de Descartes, e posteriormente no positivismo, é inegável. Todavia ela não é mais suficiente! Os sistemas são altamente entrópicos, os riscos são de grande monta. Um acidente que poderia ser de pequena

monta pode se tornar catastrófico, dependendo dos cenários em que ocorreu. Não se pode mais negar a importância de uma epistemologia diferenciada para se tratar as questões da tecnologia, da economia, do trabalho e da sociedade de um modo mais amplo. A proposta é de se basear nas ideias da complexidade para tratar essas questões²⁴⁻²⁶.

Uma das primeiras perguntas ancoradas em paradigmas da complexidade é entender para quê e com qual propósito se produz^{27,28}. Se essas questões não fizerem parte de qualquer ação de engenharia, ainda mais quando se trata de empreendimentos de alto risco, há algo errado. Considerar que a produção e seus impactos se situam nos limites da empresa e nos seus arredores é reduzir muito o escopo de qualquer análise. No caso em questão, as consequências de um acidente dessa monta se disseminam no tempo e no espaço, causando impactos negativos cuja avaliação é muito difícil. Qualquer quantificação de danos²⁹, por mais que seja feita com seriedade e abranja diferentes aspectos do prejuízo, será parcial. Além das questões concretas, como a poluição de águas e a destruição de terras agriculturáveis, há perdas que dizem respeito à perspectiva das pessoas que vivem em áreas ribeirinhas. O que fazer quando não é mais possível manter a sua moradia, os seus locais de plantação e a criação de animais? Pode-se ir mais longe, há uma perda imaterial significativa, a perda da confiança na empresa, nas soluções técnicas e de engenharia, nas pessoas que decidem e no próprio Estado. Isso não se pode quantificar, mas as consequências são bastante significativas, uma delas é que, junto com a desconfiança, abre-se espaço para o cinismo e para a descrença.

A produção mineral é estratégica. Se analisarmos mais profundamente o que nos cerca, quase tudo provém de algum tipo de mineração. A dependência do ser humano com relação aos minérios é crescente e produzir minérios pode ser uma fonte de riqueza não apenas para as empresas, mas para toda a população. Entretanto, produzir de qualquer maneira, sem que se adotem condutas de prudência para evitar essas externalidades catastróficas, perde o sentido.

Resta ainda a questão que diz respeito à repartição dos prejuízos. O que para a empresa pode significar uma perda importante, porém que pode ser coberta por seguros e, mesmo com a incorporação de novos investimentos, para outros menos afortunados, pode ser a ruína total. Enxergar o fenômeno considerando apenas algumas variáveis é insuficiente à luz de um pensamento complexo³⁰.

Não se pode pensar apenas naquilo que interessa a alguns e que seja mais evidente, é importante considerar também

aquilo que não é visível. Muitas vezes, o que não é visível é fruto de uma visão reduzida e simplificada da realidade. Um olhar complexo busca desvelar essa invisibilidade.

Uma outra convocação que diz respeito aos pressupostos da complexidade é a de se considerar distintas racionalidades no projeto e na gestão de qualquer sistema de produção. A maioria das decisões ainda é fortemente influenciada por princípios teleológicos, o que mais importa é a relação meios e fins, uma racionalidade estratégico-instrumental, ainda pouco se considera a realidade da atividade dos diferentes atores de produção e suas possíveis contribuições para decidir, sobretudo quando se trata de níveis estratégicos³¹. Todavia o que está em jogo vai muito além, ao não incorporar uma racionalidade axiológica, a perspectiva dos valores e das questões ético-morais não entra como um pilar fundamental para os processos decisórios. Ao se pensar nos impactos para todos aqueles que trabalham e para a sociedade, de um modo mais amplo, há sempre que se questionar sobre o que se está produzindo, como se está produzindo e quais são os benefícios reais da produção, considerando inclusive aspectos que dizem respeito ao desenvolvimento profissional e da cultura.

Então, coloca-se também a discussão sobre a racionalidade subjetiva (*pathica*) que diz respeito aos sujeitos, à sua subjetividade, ao viver junto e a diferentes aspectos relacionados a um conhecimento mais profundo sobre o ser humano. Essa discussão é ancorada nos aportes da psicodinâmica do trabalho, que tem um forte diálogo com a antropologia psicanalítica.

Não pretendemos tratar de todos os pressupostos da Teoria da Complexidade neste artigo. Todavia há mais alguns que precisam ser explicitados.

Todo sistema de produção, assim como um sistema vivo, uma vez que nada é totalmente automatizado (mesmo os automatismos dependem dos programadores, ao menos ainda), tende à desordem. O papel dos seres humanos, não importando o seu nível na hierarquia, é regular essa tendência. Os processos de ação e decisão levam a níveis distintos de ordem.

A partir dos pressupostos da Teoria da Complexidade, proposta por Morin^{5,6}, com base nos princípios da entropia, a tendência é que os processos de desordenamento nos sistemas de produção sejam constantes. As ações dos diferentes sujeitos estariam portanto, voltadas para conseguir novos patamares de ordenamento, em níveis distintos e possivelmente mais seguros. Essa relação entre ordem e desordem faz parte da dinâmica de todos os processos. Todavia o desordenamento também pode ser muito grande e, dependendo da entropia

do sistema, ser catastrófico. A entropia, por menos que seja, está presente e o que fazem os atores da produção é buscar mecanismos de regulação para alcançar novos tipos de ordem, evitando uma desagregação maior do sistema.

Esse tipo de conceito pode ajudar a compreender os acidentes catastróficos porque nos faz refletir sobre as incertezas e sobre a incompletude de qualquer abordagem que tenhamos. Isso nos leva a sermos mais humildes e prudentes quando pensamos na segurança da produção, seja de qual tipo for.

CONCLUSÃO

Limitar um projeto de engenharia àquilo que é visível e àquilo que foi entregue no momento do início das operações de qualquer empresa ou instituição é uma temeridade. Assim como para produtos há que se considerar o ciclo de vida de um empreendimento, não se pode imaginar que os empreendimentos terão vida longa se não houver uma gestão responsável que considere diferentes aspectos de uma produção sustentável^{32,33}.

Nessa perspectiva incluímos as questões do trabalho e das possibilidades de desenvolvimento profissional, a continuidade da produção incluindo processos que possam reutilizar matérias-primas, a constante manutenção e a renovação do parque industrial, a busca de novas tecnologias e novos produtos, a incorporação de serviços que agreguem valor à produção e mesmo os processos de desmonte das instalações. Deixar qualquer desses aspectos sob a responsabilidade de outros é fruto de visões imediatistas que buscam extrair a maior quantidade de benefícios no curto prazo.

Um outro desafio está ancorado na noção de dano potencial. Tratar a questão da segurança ancorado apenas no risco da ocorrência de um acidente, inclusive catastrófico, sob a égide de cálculos de probabilidade sem considerar o que pode ocorrer se o evento se consolidar é, no mínimo, uma irresponsabilidade. Ao se propor sistemas de segurança seria importante também considerar a extensão dos danos e procurar que se estendam tanto no que diz respeito ao espaço como ao tempo.

Para tanto, há que se considerar que os sistemas não são completamente seguros e que há sim risco. Assim, evitar que sejam atingidos os cursos d'água, criar sistemas de contenção, impedir que haja empreendimentos a jusante e que possam ser destruídos, não permitir a moradia de pessoas em áreas

ribeirinhas que também estariam no caminho de algo torrencial, como o ocorrido, seria algo prudente.

De qualquer maneira, a quantificação de riscos também pode levar a condutas cínicas, aquelas que consideram apenas o quanto se pagará de indenização caso haja algum prejuízo e o valor do seguro para que a empresa não seja impactada pelo pagamento dessas indenizações. Situações que levem ao fechamento de uma empresa também não são desejáveis, pensar na possibilidade de se favorecer a adoção de medidas de prudência também pode ser parte do papel do Estado, desde que haja mais transparência na gestão e nos propósitos das empresas.

Para concluir, há uma discussão que advém das ciências do trabalho, em especial da psicodinâmica do trabalho. Precisamos questionar como diferentes trabalhadores nessas empresas conseguem vivenciar esses cenários nos quais o risco está muito presente. Para dar conta e conseguir conviver com essas situações há mecanismos de defesa psíquicos que servem para, de alguma maneira, reduzir o medo, diminuindo o grau de consciência de que há perigo^{34,35}. Em muitas situações de produção há quase que um discurso monolítico que serve para assegurar às pessoas que tudo está sob controle.

Mas como já mostrado em muitos trabalhos nos quais se escuta mais profundamente os trabalhadores, as evidências de que há algo errado são parte significativa de seus discursos. Todavia, esses pontos de vista tendem a ser pouco considerados. Isso porque, entre outros motivos, há uma tendência a se desconsiderar o perigo para continuar a produzir. Esses mecanismos defensivos são comuns entre os responsáveis pelos projetos e pela gestão da produção, assim como entre os dirigentes. Ressalte-se que também não é incomum a existência desses processos defensivos de negação do risco entre trabalhadores na operação, uma vez que precisam continuar a trabalhar. Por isso que, em situações claramente perigosas, é comum escutar alguém dizer que é possível continuar as operações, afinal a probabilidade de que algo aconteça é baixa. Assegurar que a produção pode continuar, apesar dos riscos e da amplitude das consequências, seria quase um pensamento mágico, guiado por defesas psíquicas que dificultariam ou impediriam análises mais criteriosas. Esse tipo de conduta é muito comum quando as pessoas acreditam que não haja outra alternativa e, de modo inconsciente, as defesas psíquicas são construídas e reduzem a capacidade de análise e a adoção de outro tipo de conduta.

Há ainda a perspectiva do confronto com o real e o conhecimento que nele se constitui. Diferentes trabalhos no âmbito

da ergonomia centrada na atividade onde são considerados fundamentais os testemunhos de trabalhadores envolvidos nas operações, assim como o testemunho de engenheiros e de outros profissionais que não se distanciaram da produção, mostram que há sempre indícios de que algo não está ocorrendo conforme previsto, que os procedimentos não são suficientes e que é necessário encontrar soluções que não são oficializadas nas empresas³⁶. Todavia poucos ou ninguém os escutam, qualquer semelhança com as consequências das defesas psíquicas, como o silêncio organizacional, não seria mera coincidência.

É claro que este artigo não explica tudo, longe disso; uma vez que há questões que dizem respeito às relações de poder, à dominação, à perda de importância das representações sindicais (incluindo o sindicato dos engenheiros), a perda da importância da produção para o retorno financeiro... mas acreditamos que a sua leitura ajuda a pensar, a refletir e quiçá a agir de modo distinto para evitar a ocorrência de acidentes e a expansão dos danos. Se uma morte por esse tipo de evento pode ser considerada como inaceitável, o que diríamos com relação às consequências do acidente de Brumadinho?

REFERÊNCIAS

- Zilbovicius M. Modelos para a produção, produção de modelos: gênese, lógica e difusão do modelo japonês de organização da produção. São Paulo: FAPESP/AnnaBlume; 1999. v. 1. 298 p.
- Pedroso LHTR, Andrade BLR. Otimismo ou Confiança? Como você avalia os riscos em seus projetos? *Rev Bras Gerenciamento de Projetos*. 2006;4(2):21-31.
- Justo Filho JF, Piqueira JRC. Engenharia das catástrofes: entre o determinístico e o imponderável. *Estud Av*. 2013;27(77):181-4.
- Piqueira JRC. Engenharia da Complexidade em Edgar Morin. *Estud Av*. 2018;32(94):363-70. <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142018.3294.0023>
- Morin E. *On Complexity*. Nova Jersey: Hampton Press; 2008.
- Morin E. *Science avec conscience*. Paris: Fayard; 1990.
- Otto AR, Eichstaedt JC. Real-world unexpected outcomes predict city level mood states and risk-taking behavior. *PLoS One*. 2018;13(11):e0206923. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206923>
- Bremer ME. *Paraconsistent Logics*. Berlim: Internationaler Verlag der Wissenschaften; 2015.
- Wisner A. Diagnosis in Ergonomics or the choice of operating models in field research. *Ergonomics*. 1972;15(6):601-20. <https://doi.org/10.1080/00140137208924462>
- Falzon P. Des objectifs de l'ergonomie. In: Daniellou F, editor. *L'ergonomie en quête de ses principes*. Toulouse: Octarès; 1996. p. 233-42.
- Dejours C. *Trabalho vivo: trabalho e emancipação*. Brasília: Paralelo 15; 2012. v. 2. 222 p.
- Piqueira JRC. Weighting order and disorder on complexity measures. *J Taibah Univ Sci*. 2017;11(2):337-43. <https://doi.org/10.1016/j.jtusc.2016.05.003>
- Carayon P, Hancock P, Leveson N, Noy I, Sznalwar LI, Van Hootegem G. Advancing a sociotechnical systems approach to workplace safety: developing the conceptual framework. *Ergonomics*. 2015;58(4):548-64. <https://dx.doi.org/10.1080%2F00140139.2015.1015623>
- Von Bertalanffy L. The Theory of Open Systems in Physics and Biology. *Science, New Series*. 1950;111(2872):23-9. <https://dx.doi.org/10.1126/science.111.2872.23>
- Von Bertalanffy L. The History and the Status of General System Theory. *Acad Manage J*. 1972;15(4):407-26. <https://doi.org/10.5465/255139>
- Murphy JB. *The moral economy of labor. Aristotelian themes in economic theory*. New Haven: Yale University Press; 1993.
- Lopez-Ruiz R, Mancini HL, Calbet X. A statistical measure of Complexity. *Physics Letters A*. 1995;209(5-6):321-6. [https://doi.org/10.1016/0375-9601\(95\)00867-5](https://doi.org/10.1016/0375-9601(95)00867-5)
- Wisner A. Understanding problem building: Ergonomic work analysis, an analytical approach. *Ergonomics*. 1995;38(3):595-605. <https://doi.org/10.1080/00140139508925133>
- Rozum JC, Albert R. Identifying (un)controllable dynamical behavior in complex networks. *PLoS Comput Biol*. 2018;14(12):e1006630. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1006630>
- Hubault F. Le travail dans la gestion: tensions et contradictions. In: Beaujolin-Belle R, Louart P, Parlier M, editores. *Le travail, un défi pour la GRH*. Lyon: ANACT; 2008. p. 22-40.
- Béguin P. Taking activity into account during the design process. In: Pikaar RN, Koningsveld EAP, editores. *Meeting Diversity in Ergonomics. Proceedings of the IEA2006 Congress, July 2006*. Maastricht, Netherlands; 2006.
- Braga JC de S. A financeirização da riqueza: a macroestrutura financeira e a nova dinâmica dos capitalismos centrais. *Econ Soc*. 1993;2(1):25-7.
- Tertre C. «Modèle industriel» et «modèle serviciel» de performance. In: *Anais do 17. International Conference of RESER; 2007 set. 13-15; Tampere, Finlândia*. Tampere; 2007.
- Dudziak EA, Sznalwar L, Plonski GA. Learning Organizations and the paradigm of Complexity: the work design approach. In: *Anais do 8. International Symposium on Human Factors in Organizational Design and Management; 2005; Maui, Havaí*. Maui: International Ergonomic Association; 2005. p. 1-6.
- Carayon, P. Human factors of complex sociotechnical systems. *Appl Ergon*. 2006;37(4):525-35. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2006.04.011>
- Montedo UB, Sznalwar LI. Análise Ergonômica do trabalho agrícola familiar na produção de leite. *Prod*. 2008;18(1):142-54. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132008000100011>
- Frei R, Serugendo GDM. Concepts in complexity engineering. *Int J Bio-inspired Computation*. 2011;3(2):123-39. <https://doi.org/10.1504/IJBIC.2011.039911>

28. Frei R, Serugendo GDM. The future of complexity engineering. *Central Eur J Engineering*. 2012;2(2):164-88. <https://doi.org/10.2478/s13531-011-0071-0>
29. Hsu T-Y, Loh C-H. Damage detection accommodating nonlinear environmental effects by nonlinear principal component analysis. *Structural Control and Health Monitoring*. 2010;17(3):338-4. <https://doi.org/10.1002/stc.320>
30. Souza BA, Sánchez LE. Biodiversity offsets in limestone quarries: Investigation of practices in Brazil. *Resources Policy*. 2018;57:213-23. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2018.03.007>
31. Sznelwar LI, Hubault F. Work Activities as a Resource for Work Organization Design and for Strategic Decisions? *IIE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors*. 2015;3(1):37-44. <https://doi.org/10.1080/21577323.2014.971981>
32. Bolis I, Brunoro CM, Sznelwar LI. Mapping the relationships between work and sustainability and opportunities for ergonomic action. *Appl Ergon*. 2014;45(4):1225-39. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2014.02.011>
33. Bolis I, Brunoro CM, Sznelwar LI. Work in corporate sustainability policies: The contribution of ergonomics. *Work*. 2014;49(3):417-31. <https://doi.org/10.3233/WOR-141962>
34. Dejours C. *A loucura do trabalho: estudo de psicopatologia do trabalho*. São Paulo: Cortez/Oboré; 1987.
35. Wisner A. O trabalhador diante dos sistemas complexos e perigosos. In Wisner A, editor. *A inteligência no trabalho*. São Paulo: FUNDACENTRO; 1993. p. 57-70.
36. Hubault F. Do que a ergonomia pode fazer a análise? In: Daniellou F, coord. *A ergonomia em busca de seus princípios: debates epistemológicos*. São Paulo: Edgard Blücher; 2004. p. 105-40.

Endereço para correspondência: Laerte Idal Sznelwar - Departamento de Engenharia de Produção, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo - Avenida Professor Luciano Gualberto, 1.380 - Butantã - CEP: 05508-010 - São Paulo (SP), Brasil - E-mail: laerte.sznelwar@gmail.com