

DA PILHA ATÔMICA AS ARMAS NUCLEARES

Gen. Div. NICANOR GUMARAES DE SOUZA

Em artigo publicado em os números de abril e maio desta Revista, tratamos de "O ABC da Energia Atômica", com um único fim de apresentar aos camaradas as noções essenciais à boa compreensão do modo por que é gerada essa nova qualidade de força que deu lugar, na época presente, às pilhas atômicas e aos temidos projetos nucleares.

Hoje apresentamos, em prosseguimento, algumas coisas úteis sobre o histórico da pilha atômica e o que deve todo oficial saber a respeito da bomba atômica e da de hidrogênio.

O homem evidentemente vem fazendo, a partir do início deste século, admiráveis progressos em todos os ramos de sua atividade, a que não poderia fugir a ciência pura e aplicada. Continua, porém, no respeitante ao lado moral e espiritual de sua existência, a ser o mesmo ente imbuído da pequenez e do egoísmo de sua origem, esquecido sempre dos belos ensinamentos cristãos. Esse lado negativo de sua vida o tem conduzido, como fator essencial, à responsabilidade do desequilíbrio social, econômico e financeiro do meio em que vive, como também o elemento primordial de desarmonia entre as nações. Tanto assim, que, logo após a última guerra, o General George C. Marshall, tão nosso conhecido, dizia: *"... a coisa mais importante do mundo atual consiste na regeneração espiritual. . . . Devemos apresentar uma democracia como força que conduz todos os germes do progresso ilimitado da raça humana. Devemos mostrar com clareza que a democracia significa uma vida melhor no interior das nações e uma melhor compreensão*

entre elas. A tirania deve inevitavelmente esboroar-se contra a imensa força moral do evangelho da liberdade e do respeito do indivíduo".

As nações industrializadas: Estados Unidos, Inglaterra, França e União Soviética já possuem pilhas atômicas que acrescem o seu poder energético para fins pacíficos; todavia, em campo oposto, com exceção da França, fabricam também armas nucleares de potência crescente dia a dia, capazes de provocar apocalípticas devastações como jamais viu o nosso planeta, desde o castigo infligido a Sodoma e Gomorra, de que fala o Velho Testamento.

ANTECEDENTES DA BOMBA ATÔMICA

A bomba atômica é a arma aterradoradora, cuja potência é buscada na fissão descontrolada de uma massa crítica de urânio 235 ou de plutônio, provocando explosões muitíssimo mais violentas que as ocasionadas pelos projetos convencionais mais poderosos.

A explosão da bomba atômica embora como nas demais resulte da liberação de enorme energia em curtíssimo lapso de tempo, delas difere nos seguintes pontos:

a) maior é a quantidade de energia liberada, cerca de 1000 ou mais do que o mais poderoso projétil de T.N.T. (trinitrotolueno ou trinitrotoluoil ou trolil);

b) a explosão segue-se a emissão de partículas alfa e beta e de raios gama, penetrantes e invisíveis, concomitantemente com fulgurante luz de intensíssimo calor;

c) a permanência no ambiente, após a explosão, de resíduos, consti-

tuidos por substâncias radioativas causadoras das mais agudas infecções e desastradas afecções nos seres vivos.

Para a consecução desse tremendo instrumento de guerra foi preciso, primeiro, domar o átomo, ou seja, controlar a reação em cadeia operada no seio da massa fissil, o que conduziu à descoberta da pilha atômica.

Esta foi, sem dúvida, a base de partida para a fabricação da nova arma atômica. Além desse lado bélico, maior, porém, foi a sua finalidade econômica e humanitária, possibilitando, respectivamente, o surto de uma nova fonte de energia e o meio de melhorar a terapêutica para certos males que nos afligem, mediante a fabricação de radiosótopos.

Dentre as valiosas descobertas da ciência, a partir de 1920 para cá, sobressaem-se a do neutrônio (neutron ou neutrão) em 1932, por Chadwick e a da radioatividade, dois anos depois, pelo casal Joliot-Curie, as quais deram novo viço às pesquisas científicas, permitindo que, em 1938, os alemães Hahn e Strassmann conseguissem quebrar em duas partes o núcleo do urânio por meio do bombardeio por neutrônios.

A seguir, os professores Lise Meitner e Otto Frisch, alemães, comunicavam que muito mais importante que a fissão do urânio, então obtida, devia ser considerada a enorme energia que ela liberava, bem maior que as conseguidas até então.

Com essas descobertas e comunicações estêve a Alemanha a pique de possuir o primado de realizações que lhe poderiam ter assegurado, pouco mais tarde, o fator essencial de uma surpresa, que lhe poderia fazer pender para o seu lado o desfecho favorável da 2ª Guerra Mundial. Todavia, a conduta de seu governo a respeito da segregação racial, fez com que renomados cientistas emigrassem, levando para o exterior o fruto de seus importantíssimos trabalhos.

Meitner e Fritsch, refugiados em Copenhague — Dinamarca, a submeteram a Niel Bohr, do Instituto de Ciências daquela cidade,

os resultados a que haviam chegado sobre a fissão de urânio. Pouco depois, ainda em 1938, Bohr partia para os Estados Unidos em visita para troca de idéias com Albert Einstein, também emigrado, o qual se entusiasmou com as comunicações sobre os resultados a que haviam chegado esses dois professores.

Logo a notícia difundiu-se pelos cientistas nacionais e os residentes no país, os quais trataram de verificá-la cuidadosamente. Dentre eles, Enrico Fermi, italiano, que também lá se asilara para livrar-se de Mussolini, reconheceu, desde logo, achar-se a ciência em presença da possibilidade de ser conseguida a reação em cadeia no urânio, ao ser este bombardeado por neutrônios, e que se tal fosse positiva, poder-se-ia obter um projétil de altíssimo poder; aiem disso, a reação em aprêço viria propiciar a liberação de enormes quantidades de energia e a produção de novos elementos e de radiosótopos.

Coadjuvado pelo húngaro Léo Szilard, outro refugiado, chegou Fermi, depois de árduas experiências, à conclusão que os átomos de urânio quando fissionados, emitiam também neutrônios que, bombardeando outros núcleos de urânio, provocavam novas fissões, ocorrendo, assim, uma autêntica reação em cadeia. O problema da reação em cadeia estava resolvido. Como, porém, controlar essa nova espécie de reação?

Todas essas notícias, como era natural, espalharam-se pela Europa, confirmando as conclusões dos trabalhos anteriormente realizados sobre o mesmo assunto por Joliot Curie. Por essa época, meados de 1939, já a Europa em guerra, poderia a Alemanha ter iniciado seu esforço no desenvolvimento da energia atômica. Todavia, viu-se frustrada nesse seu intento, não só pela política canhestra da segregação racial, como por uma série de acontecimentos, imponderáveis uns e outros impostos pelas próprias contingências da guerra.

Em 1940, o casal Curie, ao fugir da França, diante da invasão alemã, levava para Inglaterra todo o estoque de água pesada — cerca de

170 litros, de origem norueguesa, que acumulara sob os maiores sacrifícios para suas pesquisas. Mais tarde, em fins de 1941 ou princípios de 1942, a Inglaterra, certa de que a Alemanha estava a fabricar água pesada na Noruega ocupada, utilizando-se para isso da fábrica desse elemento, e da usina elétrica de Rjukan, destruiu as principais partes desse conjunto, empregando nessa empresa patriotas noruegueses, cuidadosamente preparados na Escócia e Inglaterra e que lá foram lançados de para-quedas.

Diante das revelações de Fermi, o cientista Albert Einstein, instado por este e outros, dirigiu em 2 de agosto de 1939, ao Presidente Franklin Delano Roosevelt, a famosa carta, abaixo transcrita, que pode ser qualificada como o germe do desenvolvimento extraordinário da energia atômica nos Estados Unidos.

"Sr. Presidente:

Um estudo recente dos Senhores Fermi e Szilard, cujo manuscrito acabo de conhecer, conduz-me a pensar que o urânio poderá constituir, em futuro próximo, uma fonte importante de energia.

Alguns aspectos da questão que se criou são de natureza a merecer grande atenção e, talvez mesmo, a exigir ação rápida da Administração. Por isso, cumpre-me o dever de solicitar vossa atenção para os fatos e as recomendações abaixo enumeradas.

Os trabalhos realizados nos últimos quatro meses por Frederico Joliot, na França e Enrico Fermi e Léo Szilard na América do Norte, tornaram possível o desencadeamento, em uma massa de urânio, de uma reação em cadeia que se traduzirá pela liberação de uma grande quantidade de energia e pela produção de novos elementos similares ao rádio. Parece agora certo que, muito em breve, tal realização se torne possível.

Esse novo fenômeno poderá também encontrar sua utilidade na fabricação de bombas, sendo concebível, conquanto muito menos certo, que novas bombas extremamente potentes possam ser fabricadas.

Uma única dessas bombas, introduzidas por navio num porto, será capaz de destruí-lo totalmente e arrasar boa parte da região circunvizinha. Tais bombas poderiam, entretanto, ser demasiado pesadas para o seu transporte pelo ar.

Os Estados Unidos não dispõem senão de minérios de urânio muito pobres. Existem, porém, boas jazidas no Canadá e na antiga Tcheco-Eslovaquia, sendo que a mais importante está localizada no Congo Belga.

Diante do exposto, seria desejável talvez estabelecer contacto permanente entre a Administração e o grupo de físicos que estuda neste país a possibilidade de uma reação em cadeia. Um dos meios para assegurar essa ligação seria o de confiar tal tarefa a uma pessoa de vossa inteira confiança e que possa ocupar um cargo não oficial.

Caber-lhe-á, principalmente, a seguinte missão :

a) manter-se em ligação com os diferentes departamentos governamentais, a fim de pô-los ao corrente dos desenvolvimentos científicos, transmitindo-lhes qualquer sugestão sobre as providências a tomar pelo governo, particularmente no sentido de assegurar o aprovisionamento dos Estados Unidos em minério de urânio ;

b) ativar os trabalhos de pesquisas, presentemente limitadas às importâncias orçamentárias das universidades, seja distribuindo recursos financeiros, por intermédio de pessoas privadas desejosas de contribuir para esta causa, seja, talvez, obtendo a cooperação de laboratórios das indústrias que dispõem de aparelhagem necessária.

Aflançaram-me que a Alemanha cessou suas exportações de urânio das minas tcheco-eslovacas sob seu controle. Essa decisão pode reponer do fato de o filho do subsecretário de Estado Alemão, von Weizsacker, encontrar-se adido ao Instituto Kaiser Guilherme, de Berlim, onde estão sendo reproduzidas algumas experiências sobre o urânio aqui já realizadas.

a) *Albert Einstein.*"

A carta de Einstein calou, como não podia deixar de ser, tão profunda impressão no Chefe do Governo norte-americano, que este, pouco depois, criava a "Comissão Consultiva do Urânio" que, por transformações, uma das quais a de Distrito Manhattan, viria afinal a ser na atualidade a famosa "Comissão de Energia Atômica dos Estados Unidos".

A tremenda ameaça que já pesava naqueles tempos sobre os Aliados, de poder a Alemanha tomar a dianteira na solução objetiva de problema de tão crucial importância, fez com que aqueles mesmos cientistas, que tanto influenciaram Einstein para enviar a carta, tomassem o compromisso de se eximirem de fazer quaisquer publicações a respeito do resultado de suas pesquisas presentes e futuras.

Esforçaram-se os mesmos, por estendê-lo aos demais cientistas aliados de além-mar, isto em abril de 1940. Contudo, apesar de seus bons propósitos, houve sérias restrições da parte do casal Joliot-Curie, que pouco depois, em junho, refugiara-se na Inglaterra com a sua preciosíssima carga de água pesada, tão cobiçada pelos alemães invasores da França.

Em seu relatório "Atomic Energy for Military Purposes", publicado pelo "War Department", em agosto de 1945, conta "Smith" que se não fôra o grupo de físicos residentes nos Estados Unidos, mas nascidos no estrangeiro, não teria aquele país se empenhado tão a fundo na solução do problema atômico, porque, até então, os cientistas norte-americanos bem pouco habituados estavam a pôr o seu saber em proveito das suas forças armadas.

O DRAMA DA PILHA ATÔMICA

Exigia o fenômeno da cisão do urânio, com a sua conseqüência imediata: a liberação de energia, até que pudesse ter aplicação bélica na guerra que já estava às portas da América, a solução de problemas que desafiavam, simultaneamente, a alta técnica, a proficiência científica e a brevidade de realização. Dentre esses variados pro-

blemas impuseram-se, desde logo, o da avaliação da massa crítica e a do fator de multiplicação do fluxo neutrônico. Aquela é a quantidade mínima de massa físsil suscetível do desencadeamento espontâneo da reação de fissão em cadeia, ao passo que o fator de multiplicação corresponde ao número de neutrônios liberados para cada neutrônio, de modo a manter essa reação até o fim. Este fator é comumente designado pela letra "K".

A reação em cadeia dependia do tamanho da massa crítica e a sua alimentação estava, por sua vez, condicionada a este fator K, também conhecido no âmbito dos laboratórios nucleares como o "deus K das reações em cadeia".

Além desses estudos de ordem científica, havia também o de ordem material — a aquisição do urânio natural para a estocagem, dentro dos materiais estratégicos de importação acelerada. Urgia igualmente estudar, mais profundamente, os isótopos do urânio, dos quais o de peso 235, de grande escassez na massa do urânio natural, na relação de 1/140, era na ocasião a única espécie de urânio de interesse na pesquisa científica, para a obtenção da pilha atômica.

Equipes de cientistas passaram a trabalhar afanosamente. Cada uma era encarregada de uma classe de assuntos, de cujos resultados, caso não fossem secretos, as outras tomavam conhecimento amplo. A que tratava da pesquisa sobre neutrônios concluiu que estas partículas emitidas sob grandes velocidades pelos núcleos quando fissionados, podiam sofrer o retardamento da parte de certos elementos químicos leves, mormente pelas substâncias hidrogenadas e pelo carbono. Como estas substâncias tivessem a propriedade de freiar esses neutrônios velozes, transformando-os em neutrônios lentos ou térmicos, foram chamados de "moderadores".

Cientes de que a água pesada, isto é, a água na qual a parte de hidrogênio da molécula é constituída pelo deutério ou deuterônio ou hidrogênio pesado, já havia sido experimentada por Joliot-Curie, mas

como não seria possível empregá-la como moderador pela impossibilidade de ser conseguida, em tempo, as quantidades necessárias, Fermi e Szilard buscaram o moderador de carbono, sob a forma de grafite, tão puro quanto possível.

Em meados de 1941, já havia sido conseguida boa dose de conhecimentos indispensáveis ao prosseguimento mais intenso do estudo da reação em cadeia. Dêsse modo, foi experimentada uma pequena estrutura de urânio e grafite, nas quantidades compreendidas entre 1/5 e 1/4 da massa crítica, cujo valor aproximado havia sido calculado por uma só das equipes, ou talvez mesmo por um único cientista — Oppenheimer.

Era notório que dessa experiência não surtiria ainda a esperada reação em cadeia; não obstante, e a serviria para determinações e observações sobre o comportamento do valor do "fator K", adequado à estrutura em questão.

Outros experimentos foram realizados a seguir, com a utilização de massas de urânio e grafite duas, três ou mais vezes maior, para a verificação do fator K e o seu comportamento em relação ao sistema predeterminado. Tudo isso serviu para possibilitar a redução da massa de urânio e grafite, sob a condição de que esta passasse a ser revestida de uma camada de material de natureza tal que obrigasse os neutrônios fugidios da massa de urânio a êle regressarem, para cometerem novas fissões. Esse invólucro foi denominado "refletor"; a sua constituição era idêntica à do moderador (grafite, berílio, etc.).

Com êsses novos ensinamentos, tornou-se possível, em julho de 1941, realizar na Universidade de Columbia, a primeira estrutura de urânio e grafite dispostos em rede, sob a forma de um cubo com 2,5 metros de aresta, contendo cerca de 7 toneladas de óxido de urânio, esparsos em recipientes de ferro a distâncias iguais. Uma fonte emissora de neutrônios, no caso constituída de rádio e berílio, fôra colocada no fundo de todo conjunto. Aparelhagem própria foi colocada em vários pontos da massa, para

medir as quantidades de neutrônios emitidos pela massa fissil integral e após a remoção do urânio fissil. A comparação dos resultados dessas duas séries de medições ensejou o conhecimento do fator de multiplicação K do sistema, corrigido-se, então, a perda de neutrônios escapulidos da massa, sem fissão.

Com êsses animadores resultados, novas tentativas foram empreendidas com outra arrumação de urânio-grafite, obrendo-se o fator — $K = 0,87$. O óxido de urânio até então empregado continha impurezas, inclusive o boro, que capturavam os neutrônios velozes ou lentos, sem fissão alguma.

Fermi e Szilard já estavam senhores de que em tôda reação em cadeia havia, simultaneamente, quatro classes de fenômenos a considerar:

- 1º) a perda de alguns neutrônios da massa para o exterior;
- 2º) a captura de outros pelo urânio 238, sem fissão;
- 3º) as impurezas da massa tinham a propriedade de atrair os neutrônios sem fissão também;
- 4º) só alguns neutrônios, afinal, provocavam a reação em cadeia.

Estimulados com essa conclusão foi-lhes fácil ver o horizonte amplo que a guerra e também a humanidade passariam a ter diante de si, respectivamente, com a fissão do urânio e a captura neutrônica por certos elementos.

Evidentemente, só a última classe de fenômenos os interessava no tocante à consecução da bomba atômica, embora a captura neutrônica possibilitasse a obtenção de novos elementos químicos radioativos descobertos, como o netúnio e o plutônio, elemento êste também fissil e cujo emprêgo como super-explosivo nuclear estaria mais tarde assegurado.

A captura neutrônica realizava o velho sonho dos alquimistas da idade média — a transmutação natural ou provocada de átomos em outros de carga e peso diferentes e daria lugar a novas descobertas.

Aprimorar a massa de urânio, tornando-a mais pura, passava à ordem do dia. Os dois referidos fi-

sicos, em maio de 1942, utilizando-se do di-óxido de urânio a 1 % apenas de impurezas, prosseguiram, em melhores condições, o seu trabalho, tendo desta feita conseguido o fator $K = 0,93$. Bem pouco faltava para a unidade ou mesmo mais. Só o valor igual ou superior à unidade possibilitaria alimentar a reação em cadeia e só os moderadores poderiam controlar essa reação.

Passados dois meses teve lugar nova tentativa com o óxido de urânio e grafite, da qual resultou o fator $K = 1,07$. Sem dúvida, era esse um bom resultado, embora ele não passasse de uma vitória de laboratório. Ainda não havia sido alcançada a massa crítica e o oxigênio do óxido de urânio ali se achava como terrível ladrão de neutrônios. Era imperioso o emprêgo do urânio metálico mais puro possível, para melhorar o valor do fator K.

Por essa época não havia quase urânio nos Estados Unidos. No ano de 1941, apenas lá existiam algumas gramas do metal em estado puro. O formidável esforço de guerra levado a cabo por aquele país conseguiu elevar, ao fim daquele ano, essa pequeníssima quantidade, a um estoque de 6 toneladas, o que obrigou a fazer baixar o custo do quilo do referido metal de 2000 dólares, para 45 apenas.

Com essa substancial quantidade de urânio e mais o cabedal técnico científico adquirido na conquista do átomo de urânio, foi possível estimular a construção de nova pilha, ao findar o ano de 1942, num campo de tênis abandonado da Universidade de Chicago. O novo conjunto deveria ter agora a forma de uma esfera de tijolos de urânio-grafite, convenientemente empilhados. Nela foram inseridas barras de cádmio que, pela sua propriedade de absorver os neutrônios, serviria de dissociador ou interruptor da reação em cadeia, tão logo essa se tornasse perigosa. Aliás, era uma medida de segurança que se impunha, porque, atingida a massa crítica, poderia haver, sem aquela medida, o disparo da reação.

Os registradores do fator K, à medida que a massa físsil aumen-

tava, passaram a acusar valores crescentes mais rapidamente do que o previsto. A massa crítica fora assim atingida antes da expectativa. A prematuridade desses resultados não permitiu porém que fosse alcançada a forma esférica planejada; ao final de tudo, a nova pilha passou a ter o aspecto de uma grande maçaneta de porta.

Era 2 de dezembro de 1942, dia assinalado para a ciência, quando observaram os físicos Fermi e Szilard que se operava no interior da pilha a primeira reação em cadeia provocada pelo homem. O fator $K = 1,0006$ conseguido, bastava para assegurar a continuidade da reação, que acusava apenas a potência de 0,5 watt; mas, todo o sistema funcionava segundo as previsões.

Nos dias seguintes, graças a melhores disposições tomadas, a potência subia a 200 watts, passível ainda de aumento. Todavia, julgou a equipe de Fermi e Szilard mais prudente suspender as experiências, visto como elas poderiam ser causa de possíveis males em todos os operadores, pelas radiações ocorrentes.

Em conseqüência, foi desfeita a 1ª pilha atômica, em princípios de 1943, para ser reconstruída logo a seguir, com o mesmo aspecto e com o mesmo material, circundada de enorme blindagem ou carapaça protetora para defesa do pessoal, no Laboratório Nacional de Argonne, subúrbio de Chicago. A potência realizada nessa pilha era ainda pequena, 2 kw, embora com possibilidade de poder operar durante períodos de 1 hora ou mais, até 100 kw. A nova pilha funcionando continuamente, com a primitiva potência, consumia somente 0,002 gr de urânio 235, por dia.

Estava desse modo conquistado o primeiro estágio, a base de partida para a consecução da bomba atômica, que só apareceria, no entanto, surpreendentemente, dois anos e meio depois.

Em que pese o horror do emprêgo da bomba atômica por seus terríveis efeitos, ela serviu, por linhas transversas, para apresentar à humanidade uma das formas energé-

ticas de extraordinário valor, cujas aplicações já são contemporaneamente uma realidade. A França e Inglaterra já possuem suas cidades industriais atômicas e a Suécia e Suíça parece que já fazem previsões sobre a fabricação da bomba atômica.

A BOMBA ATÔMICA

A bomba atômica assemelha-se a uma pilha atômica. Se nesta a liberação de energia é controlada, na bomba atômica não há necessidade desse imperativo; a reação opera-se intempestivamente. A energia assim liberada, de modo súbito e brutal, reveste-se da feição de violentíssima explosão atômica. Ela é o paraíso dos neutrônios velozes oriundos das fissões. A enorme velocidade de difusão dessas partículas pela massa físsil abrevia a duração de cada geração de neutrônios, acarretando a explosão atômica.

Para evitar a captura neutrônica, sem fissão, a bomba atômica só pode ter como explosivo atômico o urânio 235 ou o plutônio, ambos em estado da maior pureza possível.

Todo composto químico explosivo caracteriza-se, em geral, pela sua grande instabilidade. Os seus átomos ou moléculas são unidos por forças de valência muito fracas. Caso essas moléculas ou os próprios átomos venham a sofrer um impacto pela ação de um detonador ou qualquer poderosa causa fortuita, opera-se inopinadamente a ruptura do equilíbrio instável em que jazia o composto, e, conseqüentemente, há o desajustamento entre os átomos ou moléculas. Estes passam, então, a dispor de outras valências, que vão ocasionar uma verdadeira comoção em toda a massa. É a explosão propriamente dita, em toda sua rudeza e com todo o seu violento cortejo: a liberação de enorme energia sob a forma de grande volume de gases em alta temperatura.

Acabada a decomposição, verifica-se uma recomposição ou reajustamento dos novos átomos resultantes, os quais passam a se ligarem entre

si mais fortemente, dando lugar a outros elementos simples ou compostos estáveis. Daí a lei física:

"toda a conversão de qualquer sistema em que seus constituintes são mantidos por fracas forças de valência ou de ligação, em outro no qual tais forças são mais poderosas, caracteriza-se sempre pela liberação de grande energia".

Nos explosivos químicos ou convencionais, os produtos da explosão são, em geral, gases nitrogenados, óxido de nitrogênio, de carbono e vapor d'água. Aparecem também alguns produtos sob a forma sólida, em geral, carbono, todos, porém, expandindo-se e disseminando-se pelo ar. As substâncias que se difundem pelo ar não são mais danosas do que as próprias emanções do monóxido de carbono desprendido dos motores de explosão em céu aberto. Nessas explosões, as reações que se operam servem para o reajustamento dos átomos entre si mesmos, até que seja alcançado o novo estado de equilíbrio.

Na bomba atômica a desintegração obedece ao mesmo princípio exposto, com a diferença de ser muitíssimo maior a energia liberada e mais brutal o efeito. Na explosão atômica verifica-se um reagrupamento, ou melhor, uma redistribuição de partículas (neutrônios) extremamente pequenas pelos núcleos dos átomos de toda massa físsil.

A decomposição química e a desintegração atômica estão na dependência da sua velocidade de realização. Um quilograma de gasolina ao queimar-se lentamente, produz gás carbônico, vapor d'água e calor que atinge a 11.000 quilocalorias. Toda essa energia, se desenvolvida durante várias horas, expande-se pelo ambiente exterior, sem qualquer efeito mecânico violento.

Se tomarmos, porém, a mesma quantidade de gasolina e a misturarmos com um volume de oxigênio, para obter uma combustão completa e se submetemos o sistema aos efeitos de uma cápsula de fulminato de mercúrio, ocorrerá uma tre-

menda explosão, com violentos efeitos mecânicos. A quantidade de energia, dêsse modo liberada, foi a mesma que na precedente experiência, mas o tempo de duração foi menor que naquela.

A conversão do sistema instável em outro estável operou-se tão súbitamente que a própria inércia do ar ambiente não tem tempo de acomodar-se à superpressão dos gases formados quase que instantaneamente. Esses passam, nesse lapso de tempo, a ocupar o mesmo volume do sistema instável primitivo. A tensão dêsses gases atinge, por isso, a cerca de uma centena de

$$4 \times 10^{10} \text{ ergs ou seja: } f = 4 \times 10^{10}$$

que, se transmitida a u'a massa "m", imprimir-lhe-á velocidade tal que teremos:

$$4 \times 10^{10} = \frac{1}{2} m v^2 \text{ para } m = 1, \text{ esta fórmula se transformará em:}$$

$$v^2 = 8 \times 10^{10} \text{ ou } v = 2,5 \times 10^5 \text{ cm x seg.}$$

Sabendo-se que em qualquer explosão parte da energia liberada se degrada em calor, é possível, sem grande erro, desprezar o fator 2,5, para só considerar o outro que então, pode-se admitir, imprimirá à massa em explosão a velocidade de 10^5 cm x seg.

Considera-se como detonação toda a explosão realizada em tempo tão pequeno que o próprio meio ambiente em que ela se produz não tenha tempo de suportar senão um deslocamento insignificante, da ordem de menos de um centímetro. A massa deve, portanto, sofrer a decomposição, ou melhor, a conversão do sistema deve efetuar-se, pelo menos, durante o tempo de $1/10^5$ do segundo. Aliás, foi esse o tempo de detonação do TNT achado experimentalmente.

Todavia, o problema da bomba atômica era bem mais complexo. Exigia o estudo de outras facetas que passamos a expor sucintamente.

A desintegração do urânio 235, e mais tarde a do plutônio, poderia

toneladas por centímetro quadrado e a sua imediata expansão pelo ar nada mais é do que a nossa já conhecida — "onda de choque".

O trotil ou trinitrotolueno (TNT) libera somente 1.000 quilocalorias, dez vezes menos que a gasolina do exemplo citado; em compensação, sua velocidade de detonação é muito maior.

O físico Gamow, inglês, calculou essa velocidade, tomando como argumento uma grama do explosivo em aprêço e as mesmas quilocalorias da energia liberada. Encontrou em unidades CGS, o valor de

liberar a enorme quantidade de energia, súbita e violentamente, em tão curtíssimo espaço de tempo?

A análise dêsse problema encerrava três aspetos acessórios carentes de solução simultânea ou não. A solução parcelada de cada um também serviria, pois, mais fácil seria grupá-los para dar-lhes o denominador comum, e assim chegar a um resultado conjunto.

O primeiro problema, que dizia respeito à massa crítica, já estava resolvido. O segundo, conduzia os físicos a pesquisar se a energia era suscetível de ser liberada em curtíssimo lapso de tempo, capaz de dar à explosão o caráter de detonação.

Sobre este tópico, impunha-se o cálculo dêsse fator tempo. Ora, sabido é que o número de átomos ou de moléculas contidos num átomo-grama ou molécula-grama de um elemento ou composto é sempre igual a 6.023×10^{23} (Número de Avogadro).

O átomo-grama de urânio 235 contém $6,023 \times 10^{23}$ átomos. Uma grama do mesmo isótopo terá:

$$6,023 \times 10^{23} = 2,6 \times 10^{21} \text{ átomos.}$$

235

A desintegração de todos esses átomos consome o mesmo número de neutrônios até 70ª geração e a experiência revela que o intervalo de tempo entre duas gerações consome cerca de $1/10^8$ do segundo, ou seja:

$$70 \times \frac{1}{10^8} \qquad 700 \times \frac{1}{10^9}$$

Comparando-se este resultado peculiar ao urânio 235 com o tempo de duração da explosão do TNT, vê-se que a grama daquele elemento gasta um tempo 1.000 vezes maior para consumir-se. Por isso, tanto o urânio como o plutônio, nesse particular, não são tão bons explosivos como o trinitrotolul.

Mas, essa deficiência do urânio 235 é mais do que compensada pela

$$\frac{\text{energia do urânio} = 20 \times 10^9}{\text{energia do TNT} = 10^3} = 20 \times 10^6$$

ou 20 milhões de grandes calorías a favor, o que representa vantagem indiscutível para o urânio 235 fissil ou o plutônio.

A bomba atômica é uma arma singular, ela não pode ser submetida a provas como os demais projetos convencionais. A massa crítica, que é o imperativo do tudo ou nada, jamais admite qualquer redução para conseguir-se bombas miniaturas de ensaios.

O outro problema dos que acima falamos consistia em saber se o invólucro da massa fissil poderia resistir, desde o começo, ao enorme calor desenvolvido pela desintegração, sem vaporizar-se; e se a própria massa crítica poderia então, prematuramente, dissociar ou expelir os seus átomos, de tal modo a reduzir ou até interromper mesmo a desintegração.

Procurava-se, em síntese, saber como se comportaria a expansão prematura do receptáculo e da

maior energia liberada. Senão, vejamos: uma grama do mesmo elemento fissil fornece, ao desintegrar-se, 20 bilhões de grandes calorías (o calor necessário para elevar de um grau centígrado a temperatura de um quilograma d'água), ao passo que a mesma massa de TNT fornece 1.000. A simples relação entre as duas mostra a superioridade do urânio 235:

própria massa fissil. Conseguiram os cientistas, experimentalmente, um bom resultado. Colocaram para isso a massa fissil em recipiente de metal da maior dureza possível, para que a inércia parede do receptáculo oferecesse, no curtíssimo espaço de tempo da desintegração, a resistência capaz de suportar a expansão prematura. Outros problemas que não cabem neste artigo foram também resolvidos.

A bomba atômica é o fruto do mais apurado cálculo procedido pelo físico JR Oppenheimer. Trabalharam, para isso, sete grupos constituídos pelos mais eminentes homens de ciência. Terminados os estudos, foi procedida a montagem da bomba, operação essa que pela delicadeza e risco de sua execução foi denominada de o "Dragão".

Algumas experiências prévias, não com a bomba propriamente em seu conjunto, foram igualmente realizadas. Entre elas, ao que parece,

para testar frações da massa crítica, uma consistia em projetar e retirar, tão súbitamente quanto possível, um bloco de urânio metálico enriquecido com urânio 235, através de uma cavidade praticada noutro bloco mais volumoso do mesmo material. A junção das duas peças provocava o início de uma reação em cadeia, que era de imediato interrompida pela disjunção quase instantânea dos dois blocos. Essa experiência por demais ousada teve de ser posta à margem.

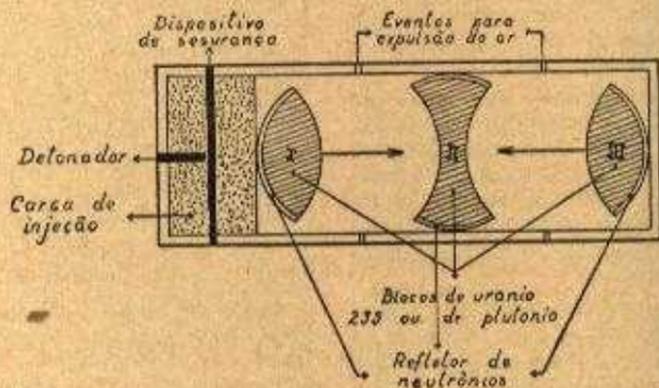
A massa crítica do urânio 235, só podendo ser totalizada no momento preciso da explosão, exigia que até esse momento ela fôsse disposta parceladamente na bomba, em duas ou mais partes, de pesos, evidentemente, sempre inferiores ao total. A reunião delas deveria operar-se com a máxima rapidez, sob pena de acarretar uma reação frustrada, uma vez que as partes poderiam ser fortemente repelidas em virtude da lei de Coulomb, processando-se, nesse caso, uma explosão fraca. A bomba, embora sem falhar na

acepção do termo, teria esparramado grande parte da massa em via de fissão, provocando agudíssimo assóvio.

A junção dos elementos constitutivos da massa crítica deve, teoricamente, ser tão perfeita e rápida quanto possível, o que, tecnicamente, não foi ainda possível conseguir. As velocidades de movimentos, até aqui obtidas industrialmente, são da ordem de pouco mais de 1 Km X seg, para os projetis anticarros. Os foguetes teleguiados já conseguiram velocidades de 8.000 Km X hora.

Seja como fôr, atingida a massa crítica, inicia-se a reação em cadeia não controlada, provocada pela radiação espontânea de um neutrônio da própria massa. É a explosão atômica.

Até hoje ninguém conhece ao certo a organização interna de uma bomba. Tudo a esse respeito são meras conjecturas; no entanto, à guisa de curiosidade apresentamos o esquema abaixo:



Os blocos I e III são projetados contra o bloco II, para assim ser conseguida a massa crítica.

Dificilmente, como vimos, obter-se-á uma explosão completa. Não obstante, que se obtenha 10% da desintegração descontrolada da

massa crítica, os efeitos alcançados ultrapassarão de muito os dos projetis convencionais da atualidade, visto que 1 quilograma de urânio 235 ou de plutônio equivale a 20.000 quilos de trinitrotolueno (trotil).

CARACTERÍSTICAS, NATUREZA E POTENCIA DAS BOMBAS ATÔMICAS

A bomba de Hiroshima, também chamada bomba de referência ou bomba nominal, parece ter contido apenas 20 quilos de urânio 235. Admitindo-se que a perda de massa tenha sido de 1 grama, traduzida segundo a fórmula de Einstein em trabalho igual a 10^{21} ergs ou cerca de 25 milhões de KWH, a explosão teria liberado a energia equivalente a 20.000 toneladas de TNT ou 20 quilotoneladas ou 20 quilotones (1 quilotone = 10^3 toneladas).

Ao se dizer que uma bomba atômica tem equivalência de 20 quilotones de TNT, referimo-nos ao ponto de vista energético, mas, nunca que ela seja capaz de produzir os mesmos efeitos de igual quantidade daquele explosivo. Admite-se que os mesmos efeitos poderiam ser obtidos com 200 bombas de 10 toneladas.

Sabendo-se, pois, que a perda de massa corresponde a 0,1 %, pode-se chegar à conclusão que na bomba de Hiroshima houve fissão somente de 1 quilo de urânio 235, tendo sido perdidos os 19 quilos restantes, transformados em vapor pela alta temperatura da explosão. O rendimento daquela única bomba, embora muito pequeno — 5 % apenas, nem por isso deixou de produzir os mais terríveis efeitos que todos conhecemos.

Hamburgo, com 1.700.000 habitantes, sofreu em julho — agosto de 1943, uma série de bombardeios aéreos, três dos quais efetuados, cada um, por 700 aviões, que lançaram 1.300 toneladas de explosivos e 1.100 toneladas de bombas e engenhos incendiários, ocasionando cerca de 100.000 mortos (a maioria em seus próprios abrigos pelo óxido de carbono) e o incêndio de 1.600 imóveis, elevando-se a temperatura a mais de 800° C.

No bombardeio de Tóquio, em 7 de março de 1945, por 280 aviões, em que foram lançados 1.670 toneladas de bombas explosivas e incendiárias, houve 80.000 mortos,

100.000 feridos e o arrasamento de uma área de 40 km².

A bomba de Hiroshima causou nos 240.000 habitantes da cidade a morte de 70.000 pessoas e ferimentos em igual número, destruindo 60.000 moradias das 90.000 existentes. As destruições cobriram uma área de 12 km² dos 25 km² de área construída.

Dias após, nova explosão atômica ocorreu em Nagasaki, causando, porém, perdas menores, em virtude da configuração topográfica mais movimentada da cidade e por haver, também, a população sido alertada a tempo de se recolher, em parte, aos abrigos. Não obstante isto, ocorreram 35.000 mortos e 45.000 feridos, para uma população de 265.000 habitantes. Dos 57.000 imóveis existentes, 20.000 foram destruídos.

Os exemplos acima falam por si mesmos, mostrando qual poderá ser o resultado da explosão de uma única bomba atômica num centro populoso qualquer.

AUMENTO DE POTENCIA DAS BOMBAS ATOMICAS E EMPREGO GERAL

A partir de 1953 até 1955, cresceu inquietantemente a potência das bombas atômicas, atingindo ao clímax em março de 1954, com a explosão de uma bomba (Estados Unidos) de 12 megatonas ou sejam 600 vezes mais poderosa que a de Hiroshima. Em 26 daquele mês e ano, nova experiência houve com uma bomba atômica de 20 megatoneladas ou 1.000 vezes mais que a potência da bomba de Hiroshima e, finalmente, em 7 de abril daquele ano, foi testada uma bomba de 40 megatonas.

A partir de 1955, as bombas experimentadas vêm diminuindo de potência, sendo digno de nota a fabricação de uma equivalente a 1 quilotone de TNT, cuja explosão subterrânea, realizada nos Estados Unidos, produziu uma cratera de 50 metros de raio por 15 de profundidade.

No momento, tudo nos conduz a acreditar que as bombas atômicas devem ter alcançado 500 quilotones de equivalência ou de potência 25 vezes maior que a de Hiroshima.

Inicialmente, destinava-se a bomba atômica a ter emprêgo estratégico. Assim foi em Hiroshima e Nagasaki, para abreviar-se a capitulação do Japão no último conflito mundial, e assim prosseguem os estudos sobre o seu emprêgo, continuando hoje a ser arma estratégica por excelência. Mas, já começou agora a ser também encarada no terreno da tática e tanto assim que os exércitos modernos, com suas organizações próprias e adequadas, já prevêem o emprêgo tático intenso da arma atômica, o que, felizmente, até o momento não teve ainda aplicação no mundo da realidade do campo de batalha.

A artilharia já possui o seu canhão atômico e não tardará o dia em que a infantaria terá também os seus engenhos pesados atômicos a aumentar a sua sempre crescente potência de fogo.

A artilharia divisória dos Estados Unidos já possui, na organização da sua "Divisão Pentômica", dois lançadores de foguetes "Honest John", os quais podem levar em suas ogivas de guerra dispositivos atômicos de grande eficácia.

O canhão atômico norte-americano, órgão de exército, pode atirar tanto projéteis convencionais como atômicos. Tem um calibre de 290 m/m e o peso de 85 toneladas, podendo fazer deslocamentos à velocidades de 50 km/hora, em estradas, sendo-lhe igualmente possível deslocar-se através dos campos.

Para isso, o conjunto canhão-reparo é traçãoado por dois tratores, um dianteiro e outro traseiro. O aparelho de pontaria em altura do canhão pode dar uma inclinação ao tubo até 55° C; o seu alcance eficaz é de cerca de 24 quilômetros, embora o alcance máximo possa ir além de 30 km. O comprimento do reparo é de 11,5 metros sem os tratores e de 25,3 metros com estes. O projétil pesa 450 quilos, e quando

emprega explosivo físsil tem uma potência equivalente a 15 quilotones de TNT.

As características desse canhão já são bem conhecidas, mas pouco se sabe ainda sobre os seus projéteis atômicos. O alcance do canhão é contudo pequeno, se o compararmos ao canhão "Grosse Bertha", alemão, que tanta celeuma causou ao bombardear Paris em 1918, da floresta de Compiègne, dali distante de 70 km, na 1ª guerra mundial.

EFEITOS DA BOMBA ATÔMICA

São todos eles referidos ao ponto "Zero", que vem a ser o pé da vertical baixada do ponto em que a bomba explode à superfície da terra.

Uma parte da energia liberada na explosão de um projétil qualquer transmite-se através do ambiente. Este, como sabemos, em virtude da alta temperatura a que é submetido, dilata-se subitamente dando lugar a enormes pressões que se propagam a partir do ponto "Zero", sob a forma de onda de choque.

Outra parte da energia dissipa-se sob a forma de radiações de diversas naturezas: a calorífica (raios infravermelhos e baixos); a radioativa, cujos comprimentos de onda muito curtos se revestem da forma de raios X ou de raios gama; e finalmente sob a forma de luz visível, de todas as cores. Emite, também, a bomba, ao explodir, neutrões que se espalham pelo ambiente em todas as direções e bem assim produtos da fissão com efeitos radioativos fragmentos e resíduos de material físsil não desintegrados.

Em síntese, toda a explosão atômica é caracterizada pelos

- a) efeitos luminosos e térmicos;
- b) efeitos mecânicos;
- c) efeitos radioativos.

Os efeitos de luz, de calor e de radioatividade propagam-se com a

velocidade da luz, enquanto que os do sôpro e do som obedecem à velocidade dêste último. Conseqüentemente, todo aquêle que fôr testemunha e estiver próximo a uma explosão atômica perceberá primeiro o clarão, eneguecedor se fôr olhado, denominado "a bola de fogo", para imediatamente após passar a sentir os efeitos de um calor intenso, capaz de torrar quem estiver ao abrigo. Segundos depois, receberá a onda de choque, acompanhada de um ruído semelhante ao de um fortíssimo trovão.

A "bola de fogo", à medida que aumenta suas dimensões, vai perdendo sua intensidade luminosa, transformando-se no famoso "cogumelo", que se eleva na atmosfera a vários quilômetros, conforme a potência da bomba.

Nas explosões de 1954, sua altura chegou a atingir a 40 km, com a largura de 160 km.

A temperatura no interior da "bola de fogo" é algo de infernal: pode atingir de centenas de milhar de graus até um milhão ou mesmo mais, segundo alguns observadores.

EFEITOS TÉRMICOS

Todos os materiais em contato com o muito próximo à "bola de fogo" são volatilizados. A emissão intensa de raios caloríficos (infravermelhos e ultravioletas), se a atmosfera estiver límpida, ocasiona efeitos incendiários nas matérias inflamáveis até 2.000 metros do ponto "O", podendo ainda carbonizar a superfície de outros, a distâncias superiores até 3.000 metros.

O calor despreendido causa queimaduras na pele exposta das pessoas, e tanto mais graves quanto mais próximas da explosão. Num raio de 1 km, as queimaduras são gravíssimas: de 1 a 2 km graves e de 2 a 4 km são de natureza média ou leve. A luz da "bola de fogo" pode ocasionar lesões oculares graves e causar mesmo a cegueira temporária ou permanente.

Mas, todos êsses efeitos têm muita pequena duração. Passados três se-

gundos ou pouco mais do aparecimento da "bola de fogo", quando esta já se acha bastante alta na atmosfera, vão-se arrefecendo os efeitos térmicos até se tornarem inócuos.

EFEITOS MECANICOS

São conseqüentes da "onda de choque" ou "sôpro" de maior duração que os efeitos térmicos. Uma bomba atômica, tipo Hiroshima ou nominal, explodindo a 30 metros acima dos telhados do casario de uma cidade, será capaz de arrasar tudo num raio de 1 km. Explodindo acima de uma cidade ou na vizinhança de habitações ordinárias, destruirá inúmeros imóveis, danificando grandemente outros, podendo ocasionar o arrebatamento das canalizações de gás e eletricidade, dando lugar a numerosos focos de incêndios, que se propagarão simultaneamente, caso não forem desde logo debelados.

Todo êsse fogaréu acarretará tão grande tiragem de ar, que reativará com mais violência as combustões, dando lugar a incêndios gigantes, conhecidos na história por "tempestades de fogo".

Os imóveis com estrutura de cimento armada são os que melhor suportam a onda de choque. Foram os únicos a resistir em Hiroshima, dentro de um raio de 800 metros do ponto "O".

O sôpro ou onda de choque causado pela explosão atômica, à semelhança de um rôlo compressor, arrasa tudo que encontra diante de si, salvo, talvez, as construções de cimento armado tipo monolítico.

Ocorrem nessa onda de choque duas classes de fenômenos: a supercompressão vertical, e a onda refletida, ou horizontal, conhecida ainda por efeito Mach.

Na primeira categoria, segundo dados norte-americanos, no ponto "zero", a pressão exercida pode atingir de 3 a 5 atmosferas ou 3 a 5 quilos por cm² ou 30 a 50 toneladas por metro quadrado, muito além da

que podem, em geral, suportar as construções usuais.

Os efeitos do sôpro das bombas atômicas são muito mais intensos que o das bombas convencionais. O arrasamento provocado pela explosão atômica não se reveste da aparência do monturo de destroços, que nos habituamos ver nas fotografias de trechos de cidades bombardeadas por bombas convencionais na última guerra. A superpressão é tamanha que esmaga e arrasa tudo que encontra.

A superpressão que se deseja obter para esse esmagamento, é um dos elementos que condicionam a determinação da altura de explosão sobre o objetivo.

O efeito Mach, de que falamos, é um fenômeno particular a tais explosões. A onda de choque ao incidir no solo esparrama-se ou reflete-se pela sua superfície. Em virtude da alta temperatura então já reinante no meio ambiente, ela passa a propagar-se mais rapidamente do que a onda direta, levando tudo de arrastão. Do entrelaçamento das duas ondas — a vertical e a horizontal, acarretando os mesmos fenômenos notados na interferência de ondas em geral, surge um complexo fenômeno, chamado de "efeito Mach". Pela sua extraordinária força, o efeito Mach se assemelha à ação resultante do deslocamento de um alto muro que se deslocasse intacto com a velocidade de 3.000 metros por segundo, nas proximidades do ponto "zero", mas que vai diminuindo até atingir a velocidade do som (340 m x s) frenada que é pela resistência do ar. Felizmente, essa prensa pneumática, que se origina na combinação das ondas de choque — vertical e horizontal, tem duração passageira no tempo e ação limitada no espaço. A diminuição da velocidade do efeito Mach é tão rápida no tempo, que as suas cruéis consequências não se fazem sentir a mais de 70 metros do ponto "zero". Contudo, esse efeito é 6 vezes maior que o resultante da onda direta, de maior amplitude no espaço.

Nas proximidades do ponto zero predominam as superpressões ver-

ticais: até cerca de 70 metros reina o efeito Mach, e daí em diante tem lugar as ondas de choque horizontais ou oblíquas.

Cumprindo assinalar que a onda de choque, em geral, tem suas originalidades. A tóda superpressão advém pressões menores, que se tornam, algumas vezes, inferiores à pressão atmosférica. Essas depressões têm maior duração. Sempre que isto possa ocorrer numa explosão, estará explicado o fato de serem encontradas janelas, portas e outros objetos das casas atingidas, atirados em sentido contrário à direção da onda de choque.

EFEITOS RADIOATIVOS

A partir do momento da explosão há intensa emissão de raios gama e de neutrônios, cuja intensidade máxima ocorre nos primeiros segundos. Sua duração jamais excede a de um minuto. O homem desabrigado até 1 km sofre a insidiosa dos neutrônios livres e até 2 km, a dos raios gama. Além disso, todo o material da bomba, inclusive a própria massa físsil restante já volatilizada, pulveriza-se pelo seu resfriamento em contato com a atmosfera, formando terríveis nuvens radioativas que se espalham pelo meio ambiente, ascendem na atmosfera, deslocando-se conforme os ventos.

Não apresentaremos os meios específicos de proteção aos efeitos da bomba atômica, por não caber neste artigo. Ressaltaremos sim, que nas condições atuais do campo de batalha, a proteção absoluta nem mesmo existe contra os efeitos dos projetis convencionais e, se acaso fôsse isto possível, as armas atuais deveriam ser abandonadas.

A bomba atômica é a arma do futuro. Poderá vir acompanhada de um cortejo igualmente tão perigoso como ela própria, pois a ciência e a técnica nucleares dos tempos modernos permitem a possibilidade do emprêgo de resíduos radioativos oriundos das pilhas atômicas, que servirão para contaminar extensas áreas terrestres ou aquáticas, os alimentos, o material e o próprio ar

que respiramos. Se, por infelicidade, o homem amanhã, na sua ânsia de dominar, regressar à sua animalidade, poderemos ter até todo o ambiente em que vivemos impróprio à vida humana.

CONDIÇÕES DA EXPLOSAO ATÔMICA

Até agora foram feitas experiências com a bomba atômica:

- a) à alta altitude (600 a 800 metros)
- b) ao nível do solo ou à fraca profundidade deste, havendo agora previsão de explosão atômica a grande profundidade.
- c) abaixo do nível das águas.

No primeiro caso predominam os efeitos mecânicos. O terreno resiste mais, assim como as organizações enterradas que, em geral, poucos danos sofrerão. A radiação térmica pode provocar diretamente alguns focos de incêndio num raio de 2.000 metros e queimaduras nas epidermes expostas, até 3.000 a 4.000 metros.

Os efeitos radioativos são menos importantes; contudo, os neutrônios podem agir sobre os indivíduos na vizinhança do ponto "O". A maior parte desses neutrônios é absorvida ou retardada pelo próprio ar antes mesmo de chegar ao solo, mas os raios gama atuam mortalmente nos seres vivos, num raio de 1.200 a 1.500 do ponto "O".

Na explosão abaixo do solo forma-se-á, à semelhança dos fornos, uma cratera de 100 metros ou mais de raio e 30 metros de profundidade, ocasionando um abalo no terreno, semelhante a um pequeno sismo, o que poderá provocar a derribada de imóveis. A extensão desses danos está conforme a natureza do terreno, maior para os solos argilosos e menor para os de areia.

Os neutrônios se encarregarão de tornar radioativos boa parte de elementos constitutivos do terreno, enquanto que os próprios elementos radioativos da explosão permanecerão nas bordas da cratera e regiões externas circunvizinhas, enquanto que espessa nuvem de poeira da

mesma natureza contaminará vastíssima área. Assim, toda esta deverá ser interdita por algum tempo, após a explosão.

Na explosão submarina ou à superfície das águas deve-se ter em vista, naquele caso, a profundidade da explosão, sendo bem complexos os efeitos mecânicos e térmicos, porque podem até acarretar destruições e danos nas construções portuárias e outros imóveis próximos. O certo, porém, é a formação de grandes vagas e a projeção de enorme coluna vertical de água e de vapores, que pode elevar-se a 2.500 metros de altura por 700 metros de diâmetro. Os efeitos da radioatividade preponderam; a água retendo os produtos emanados da bomba, os sais nela dissolvidos tornam-se radioativos. A chuva que sobrevém, em geral, é perigosíssima.

A BOMBA DE HIDROGENIO

A aplicação imediata da fissão do átomo foi a pilha atômica. Dois anos e meio após, surgiu a bomba atômica. Não fora esta, não teria aparecido a bomba de hidrogênio, que encontra naquela, como adiante veremos, o elemento calor para poder funcionar.

A fissão caracteriza-se pela transformação de elementos químicos com altos pesos atômicos (urânio 235 e o plutônio) em outros pesos inferior.

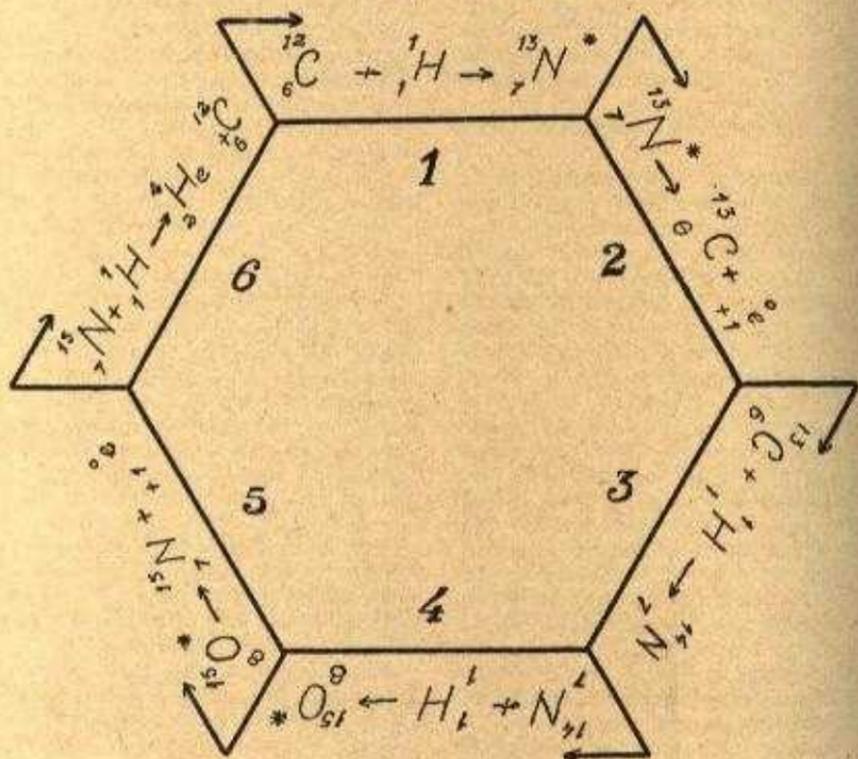
A bomba de hidrogênio consiste na fusão de elementos mais leves — o hidrogênio e seus isótopos — o deutério e o trítio. Para que se processe a fusão, ou melhor a união desses elementos, torna-se mister vencer as forças de repulsão que nestes existem, afastando entre si esses núcleos, que, como sabemos, são de natureza eletrostática positiva. Para vencer essa resistência, torna-se necessário animar essas partículas de uma energia cinética considerável e isto só pode ser conseguido pela elevação da temperatura a centenas de milhares de graus centígrados. A indústria de calor atualmente só conseguiu no máximo de 3500° a 4000° C.

O princípio de fusão dos elementos leves foi, ao que parece, descoberto em 1936, quase que simultaneamente, por Bethe, físico austríaco e Rocard, francês. A essa época foi apenas vislumbrada a fusão, impossível de obter, porque ainda não havia chegado a ocasião de vencer as forças de repulsão entre aqueles núcleos de átomos.

Bethe apresentou notável trabalho — o seu famoso "Ciclo de Be-

the", que veio dar cabal explicação das reações nucleares que se passam no Sol. Afirmava que a transmutação de 4 núcleos de hidrogênio em um único de hélio, tendo o carbono como catalizador, operava-se em 6 etapas sucessivas, com a formação intermédia de isótopos instáveis de azoto e de oxigênio e a emissão de positônios.

Para melhor elucidação, apresentamos o esquema :

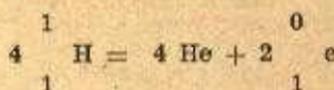


Por êle, verifica-se que :

- da fixação de um prótônio ao carbono forma-se o azoto de peso 13, instável ;
- sendo radioativo, êsse azoto emite um positônio, transformando-se em um isótopo do carbono, de peso 13, estável ;
- pela fixação de um prótônio, transforma-se êste carbono em azoto 14, estável ;

- o azoto 14 captura um prótônio, para tornar-se oxigênio de peso 15 (isótopo do oxigênio) ;
- êste oxigênio 15 é instável; emite por isso um positônio, transformando-se em azoto 15 ;
- a fixação de um prótônio nesse azoto 15 dá lugar à formação de hélio e carbono, fechando-se dessa forma o ciclo.

Há nesse ciclo a fixação de 4 prótônios, que são, como sabemos, 4 núcleos de hidrogênio despojado de seus eletrônios, por igual número de núcleos de carbono e que depois tomam a forma de hélio. O carbono ao fim de cada ciclo regenera-se. Em linguagem química a reação é a seguinte:



A reação nuclear em aprêço só pode efetuar-se em alta temperatura, igual à que atua em certos astros e no sol, onde ela chega a atingir 20 milhões de graus no centro do planeta e 6.000 na periferia. Essas altas temperaturas neutralizam as forças de repulsão dos núcleos, que se fundem então.

A condensação desses quatro núcleos de hidrogênio em um único de hélio provoca uma "falta de massa" transformada em tremenda liberação de energia, cuja altíssima temperatura permite, por sua vez, a continuidade da reação e daí a permanência do sol há bilhões de anos.

O astro-rei ao emitir sua energia luminosa e calorífica perde cerca de 4 milhões de toneladas por segundo, quantidade desprezível diante da sua massa total de 2×10^{27} toneladas. O sol vai, portanto, se retraindo, mas sua existência durará ainda cerca de 15 bilhões de anos. O hidrogênio que lá existe ou que para lá emigra, vai, pouco e pouco, sendo substituído pelo gás hélio, menos condutor de calor. Por isso, asseveram certos cientistas que a temperatura do sol tende a crescer, o que poderá reativar bem mais as reações nucleares, dando lugar, quem sabe!, à explosão total do astro-rei.

Durante os estudos da bomba atômica os físicos já haviam pressentido a possibilidade de obter uma outra bomba mais potente, que só poderia ser posta a funcionar justamente por aquela que estava em estudos. Realmente, logo após o armistício com o Japão, diante dos aterradores feitos caloríficos da bomba atômica, começou a ser estudada em Los Alamos (Estados Unidos) a bomba de hidrogênio.

Para isso, foi pesquisada, inicialmente, a mistura de 98 % de hidro-

gênio leve e 2 % de hidrogênio pesado ou deutério. Pouco depois, em 1949 ou 1950, foi verificado que a fusão do hidrogênio pesado com o trítio ou hidrogênio mais pesado, possibilitaria melhores resultados.

Ao físico norte-americano "Urey" coube revelar, em 1932, que o hidrogênio continha um isótopo — o hidrogênio pesado ou deutério, de símbolo D e 18 anos mais tarde foi possível a Libby e Grosse revelar existência do segundo isótopo do hidrogênio — o trítio, de símbolo T.

Sabemos que o hidrogênio ordinário com o oxigênio dá a água normal; a do deutério com o oxigênio conduz-nos à água pesada, e a do trítio leva-nos à água muito pesada.

A água pesada é rara na natureza; em 6.000 moléculas de água normal há 1 molécula apenas de água pesada. A água muito pesada é mais rara ainda; é também radioativa. Por isso, emitindo partículas beta, acaba por transformar-se no gás hélio. Ela há muito que anda quase desaparecida da natureza e a seu respeito basta citar que se toda água de um rio com a vazão de 300 m³/seg fosse captada em 24 horas, obter-se-ia 1 único litro desse líquido.

A obtenção industrial do trítio é onerosíssima; no entanto, uma vez ele obtido, é de fácil manipulação, podendo ser comprimido, congelado e armazenado.

Pouco se sabe a respeito da fusão dos elementos leves e de seus isótopos para a obtenção do trítio.

O trítio desenvolve, sob peso igual, sete vezes mais a energia que o plutônio ou seja: para 1 quilo de trítio a energia liberada equivale a 140.000 quilos de TNT. Ao juntar-se com prótônios ('H), deutérios

ou mesmo com o trítio, desenvolve reações exoenergéticas de altíssimo valor.

Para conseguir a primeira bomba de hidrogênio, 1.000 vezes mais potente do que a bomba atômica de Hiroshima, foi preciso empregar cerca de 4.000 kg de trítio e hidrogênio. Eis porque ela apresentava dimensões e peso excessivos.

A fusão do hidrogênio e seus isótopos, do lítio, berílio, etc., só se efetua sob altas temperaturas, impossíveis de obter industrialmente. Mas a bomba atômica, ao explodir, pode fornecê-la nas condições adequadas. Esta se comporta, então, como um detonador nos explosivos convencionais ou como um simples fósforo ou isqueiro ao acender-se um cigarro. Daí o nome por que são conhecidas as bombas H: "bombas termonucleares".

Hoje, já vão sendo conseguidas tão altas temperaturas por outros meios, como por exemplo a concentração de cargas ôcas (efeito Munro — empregado na basuca); a descarga de gases raros (neônio, argônio, criptônio, xenônio), ou por um dispositivo complicadíssimo de choque, preconizado pelos ingleses.

Ao calor de 300.000° a 500.000°C, necessário à provocação da fusão, vê-se quão infernal é a explosão da bomba H, deve-se acrescer a ação dos neutrônios da fusão, a radioatividade do trítio e os próprios efeitos da bomba atômica, iniciadora de todo esse quadro dantesco.

O deutério e o trítio liquefeitos foram os primeiros elementos empregados na bomba H, experimentada em 1 de novembro de 1952, e que tinha a forma descomunal de um cubo de 8 metros de aresta, com 65 toneladas de peso.

Depois passou a ser empregado o lítio, possivelmente sob a forma de hidrato de lítio que, sob a temperatura da explosão atômica e a captura de neutrônios, transforma o lítio em trítio, e o hidrato libera o deutério. A temperatura reinante faz a fusão do deutério e o trítio.

A bomba termonuclear propriamente dita é pois, uma bomba A.F. (atômica-fusão), que se diferencia

das bombas mais modernas ou superbombas (Ultimate bomba) ou bombas U 3F. (fissão-fusão-fissão). Nestas bombas, as suas paredes externas são em geral de urânio 238, e a explosão ocorrerá em três tempos:

- 1º) A bomba atômica — no caso fazendo as vezes de detonador — produzirá a temperatura adequada à fusão dos elementos leves da composição da bomba de hidrogênio;
- 2º) Iniciada a fusão, há uma grande derrama de neutrônios de grande energia;
- 3º) Estes provocam a fissão das paredes da bomba que, conforme vimos, são de urânio 238.

Essas bombas realizam, em tempo infinitesimal, uma triplice explosão em cadeia sem controle, o que levou a imprensa humorista a apelidá-las de bombas FI FU FI.

Fala-se muito nestes últimos tempos de bombas de cobalto, sem confirmação plausível até agora. Ao que tudo leva a crer, as paredes externas desse engenho seriam de cobalto que, pela ação neutrônica, desintegrar-se-ia com radioatividade de enorme poder maléfico.

As bombas termonucleares vêm ultimamente aumentando de poder, mas muito embora, teoricamente, elas possam adquirir potências ilimitadas, há sempre um termo além do qual os seus efeitos se arrefecerão. Esse poder parece limitado a 2 ou 3 mil vezes maior que a B.A. A onda de choque, à semelhança do efeito do terreno sobre minas terrestres, perde pouco a pouco o seu efeito horizontal, atuando, contudo, com maior intensidade no sentido vertical, em virtude da rarefação das camadas atmosféricas.

EFEITOS DAS BOMBAS TERMONUCLEARES

A "bola de fogo" tem muito maiores dimensões que a bomba atômica. Para uma bomba H duas mil

vêzes mais potente, essa bola terá vários quilômetros e o cogumelo atômico elevar-se-á a algumas dezenas de quilômetros na atmosfera. As temperaturas no seu interior alcançaram, segundo certos cientistas, a ordem de 1 bilhão de graus.

Pouco se conhece ainda, nas explosões termonucleares, as distribuições de energia pelos três efeitos clássicos.

EFEITOS DE SÓPRO

Estima-se que os efeitos mecânicos devidos ao sopro "são proporcionais à raiz cúbica da potência da bomba H". Comparando-se com os efeitos da B A de Hiroshima, e considerando a bomba H duas mil vêzes mais potente, os seguintes resultados podem ser admitidos:

— de 10 km do ponto O, tudo será arrasado, salvo um ou outro imóvel mais resistente;

— de 10 a 20 km, haverá grandes danos nos imóveis e possivelmente seria exigida a evacuação do pessoal residente de quase todos eles;

— de 20 a 30 km, reparos importantes serão precisos na maioria dos imóveis.

De qualquer modo, a regra acima parece ser um tanto rigorosa, admitindo-se mesmo que na realidade os danos sejam menores que esses dados teóricos.

EFEITOS TÉRMICOS

"Os efeitos térmicos são proporcionais à raiz quadrada da potência da bomba".

É outro dado teórico, porque na realidade é exagerado. Os efeitos dependem do estado atmosférico. Para as grandes distâncias a absorção pelas moléculas do ar intervem, diminuindo os efeitos térmicos, dando margem a um coeficiente de redução que parece variar entre 1/3 e 1/2. Ultimamente, admite-se 1/3 como coeficiente mais adequado.

De qualquer modo, na explosão da bomba H haverá queimaduras mortais num raio de 20 a 30 km do ponto "O", e de natureza grave dentro de 30 a 50 km.

Seja como for, para um ponto dado a radiação calorífica será proporcional à potência da bomba. Admitindo que para a bomba atômica de Hiroshima, essa radiação seja de 3 calorias x Cm^2 , 2 km do ponto "O"; para a bomba H será nas mesmas condições, de 2.000 x 3 calorias/segundo, sem se levar em conta o coeficiente de redução que só prevalece para maiores distâncias.

Comparando os efeitos das duas bombas, vê-se que o sopro caracteriza a bomba atômica, ao passo que a bomba de hidrogênio é, sobretudo, um engenho incendiário.

EFEITOS RADIOATIVOS

1) Efeitos instantâneos

Parecem obedecer à mesma cláusula que rege os efeitos térmicos, isto é: num ponto dado, as radiações *gamma* são proporcionais à potência da bomba.

No momento da explosão são liberadas grandes quantidades de neutrônios, surgindo ainda uma radioatividade induzida em virtude da bola de fogo lambendo grande parte do terreno, salvo quando a explosão se der a grande altitude.

2) Efeitos retardados

São conseqüentes à queda de materiais no solo em forma de detritos e poeiras radioativas, sempre que o arrebentamento é próximo ao solo.

A bomba H que funcionou em 1 de março, na pequena ilha de Elugelab, do atol de Eniwetok, no Oceano Pacífico, volatilizou a torre de 50 metros em que fôra colocada, produzindo uma cratera de 1 km de raio e 60 metros de profundidade. O cogumelo atômico arrastou consigo consideráveis produtos que se tornaram radioativos pela ação neutrônica.

Nessa mesma explosão, cerca de 20 milhões de metros cúbicos de areia coraiçena foram arrebataados pelo cogumelo, transformando-se em nuvens, as mesmas que incidiram mais tarde sobre os pescadores japoneses que estavam a 130 quilômetros do local da explosão.

As partículas dessas nuvens podem, conforme o seu peso, permanecer em suspensão na atmosfera durante horas até por vários anos.

A radiação gama diminui a partir do momento da explosão. Sua intensidade vai diminuindo; 24 horas depois é menor 5 vezes do que uma hora após a explosão. Ao cabo de dez dias, é a vigésima parte daquele primitivo valor.

A bomba H russa, experimentada na Sibéria, suspendeu cerca de 500 quilos de poeira, capazes de tornar inabitável, conforme a direção dos ventos, uma área correspondente a 250.000 km², equivalente à do Estado de São Paulo.

UTILIZAÇÃO DAS ARMAS NUCLEARES

As previsões do emprêgo são, no estado atual, as seguintes:

- a) Bombas nucleares — Podem ser lançadas por aviões, por projetis autopropulsados, foguetes teleguiados e projetis de artilharia. Além disso, poderão, aliás, dificilmente ser colocadas previamente nos locais onde devam explodir.
- b) Corpos radioativos — À semelhança dos gases de combate, podem apresentar-se sob a forma de:

- poeiras ou líquidos pulverizados ou brumas, cujas gotículas permaneçam em suspensão no ar;
- gases;
- soluções ou suspensões n'água.

Essas substâncias radioativas podem ser obtidas:

- como consequência natural das próprias explosões nucleares;
- pela fabricação prévia.

Neste último caso, são suscetíveis de ser espalhadas, empregando-se:

- o bombardeio aéreo;
- as chuvas artificiais lançadas por aviões;
- o bombardeio por projetis autopropulsados, foguetes teleguiados e artilharia atômica;

- por minas terrestres ou marítimas;
- pela emissão de fumaças e brumas radioativas.

CONCLUSÃO

Os efeitos e as consequências das explosões nucleares vêm suscitando da parte dos Estados Unidos, da Rússia e dos países da "Otan" uma infinidade de medidas preventivas e de proteção, umas já postas em execução e outras discutidas apenas no terreno das elocubrações.

Os projetis ou engenhos nucleares despertam uma dose de considerações, particularmente interessantes nos seguintes pontos:

- 1) A possessão de engenhos nucleares poderá ser uma garantia de paz?

Resposta afirmativa seria o ideal para a humanidade. Entretanto, o contrário se revela com mais evidência. Após a 1^a Guerra Mundial houve no mundo vários conflitos locais que culminaram com a 2^a Conflagração Mundial. É possível que a periodicidade dos conflitos generalizados seja maior. Todavia, a frequência das lutas regionais vem-se revelando maior. A partir de 1945, término da 2^a Guerra Mundial, já presenciamos várias guerras e conflitos desse gênero: Coreia, Indo-China, Indonésia, África do Norte e, nestes últimos tempos, as escaramuças do Egito e Israel, todos tendo podido deflagrar a esperada 3^a Guerra Mundial, que ninguém de boa índole deseja.

Olhando o passado, analisando o surto armamentista das grandes potências que encabeçam os dois blocos em que está dividido o mundo atual, e se, finalmente, estudarmos os homens atuais, cujas ambições pouco diferem das do homem de ontem e ainda os crescimentos vegetativos das populações do globo terrestre que poderão vir a ser fator de fricção entre os povos, verificar-se-á que todos esses fatores são uma autêntica "espada de Damocles" sobre a cabeça de todos nós. Assim sendo, pode-se asseverar que a arma nuclear não afastará, por enquanto, o mundo dos horrores da guerra.

2) Em caso de conflito entre os dois blocos, serão empregados os projetis e engenhos nucleares, ou eles terão o mesmo destino que os gases de combate desempenharam, como ameaça, na última guerra?

A respeito de gases de combate, todos sabemos que o seu emprêgo só se tornaria real como represália. Poder-se-á em caso de nova guerra, esperar o mesmo tratamento com relação à arma nuclear?

Parece que não. No momento, nunca qualquer dos homens responsáveis pela política externa ou pelos destinos militares das grandes potências que já dispõem de arma nuclear, fez quaisquer afirmações tranqüilizadoras. Os chefes militares americanos, ingleses e russos vêm até insistindo sobre a sua aplicação tão logo o conflito possa eclodir.

Ao contrário dos gases, que constituíram fator tático, aliás, mal empregado na 1ª Guerra Mundial, a arma nuclear ou arma atômica é de âmbito estratégico, capaz de definir uma situação e fazer pender, pelo menos inicialmente, o prato da balança para o lado daquele que souber empregá-la melhor e mais proficientemente nos centros vitais do adversário.

Apesar de seu alto custo, os projetis e engenhos nucleares são, paradoxalmente, mais econômicos que os convencionais, os quais necessitarão de vários aviões de bombardeio para o seu lançamento. O bombardeio de um objetivo com 200 bombas de 10 toneladas empregará 200 aviões; bastará um único para lançar uma bomba nuclear equivalente àquelas tôdas.

Uma bomba nuclear representa um décimo da despesa feita com as bombas convencionais e sua fabricação emprega 50 vezes menos pessoal.

Além disso, o projétil termonuclear de peso igual ao de fissão produz uma energia sete vezes maior; custa, segundo a Comissão de Energia Atômica Americana, centenas de vezes menos que a energia nuclear propriamente dita.

Ora, se economicamente o projétil de maior potência é muito mais

vantajoso que um conjunto de projetis convencionais de potência equivalente, porque, então, apreciando o utilitarismo ou talvez mesmo o materialismo em que se debate o mundo de hoje, irão as potências que dispõem desses engenhos acelar a premissa de empregarem os projetis e engenhos nucleares?

3) A arma nuclear poderia decidir, desde logo, o futuro conflito mundial? É nossa opinião pessoal que não. Qualquer arma, por mais potente que tenha aparecido em um período de interguerras, foi sempre olhado como verdadeiro e antinético bicho-papão devastador. Certamente nunca houve, até agora, qualquer uma do gênero nuclear, cujos efeitos e emprêgo estratégico vêm assustando, aterrorizando, as populações do globo terrestre.

A resistência humana e o engenho humano são, porém, a go de notável, difíceis de pressupor. Se assim é para o indivíduo, por que não poderá ser também para as coletividades humanas ameaçadas mais diretamente? O homem já sabe os terríficos efeitos dos projetis e engenhos nucleares; por isso mesmo, já terá engendrado os meios como deles defender-se.

Embora só uma futura guerra mundial, não desejada, possa corroborar essa afirmativa, acreditamos que as potências: Estados Unidos, Inglaterra e Rússia já possuem a sua "caixa de segredos", guardada ciosamente.

A guerra de ontem, como a de amanhã, foi e será o fruto de uma evolução do armamento e dos processos de combate. A partir da guerra de 1914-1918, essas transformações vêm sendo mais evidentes; o desenvolvimento tecnológico das indústrias tem sido o principal fator de apoio. A última guerra mundial foi, sobretudo, uma guerra técnica e de especialistas bem conduzidos pelo engenho humano.

Nela ficou perfeitamente confirmado "não ser possível lutar apenas com homens contra o material", coisa que os nossos saudosos mestres da Missão Militar Francesa nos ensinaram com tanta objetividade.

Esta sentença conduziu os oponentes do último conflito à aplicação, com toda pujança, dentro das possibilidades de cada um, ao princípio napoleônico :

“A vitória é sobretudo um negócio de força e para vencer nunca se é suficientemente forte.”

As transformações da guerra jamais cessam, vão-se operando à medida que os armamentos se aperfeiçoam e aumentam o seu poder destruidor.

Ao final do último conflito, vimos, da parte da Alemanha, o emprêgo do avião sem piloto, a bomba V-1 e o foguete — a bomba V-2, que tantos males causou aos ingleses, na sua própria ilha. Os Estados Unidos empregaram a bomba atômica em Hiroshima e Nagasaki, o que decidiu a luta contra o Japão.

Os novos engenhos e armas nucleares exigirão um vazio bem maior no campo de batalha do que anteriormente, como também um maior alargamento dos intervalos das grandes unidades e das pequenas também. O emprêgo das armas na defensiva e na ofensiva, como também a conduta para a batalha, estarão condicionados a três fatores essenciais interligados :

a) maior dispersão para impedir o aniquilamento maciço das forças

antes de seu emprêgo. Tal dispersão materializará melhor o conceito dos pontos de apoio, capazes de autodefesa e pronto aprestamento para a batalha ;

b) maior mobilidade, para permitir a reunião de forças, no tempo e no espaço, o que exigirá melhores meios de transporte e de comunicações ;

c) maior rapidez, significando maior presteza no cumprimento das missões recebidas para, desse modo, com maior velocidade, aniquilar mais prontamente o inimigo.

A futura guerra será o paraíso dos teleguiados ; sua defensão é difícil e dificilmente haverá proteção contra eles ; os aviões bombardeiros do figurino da fase final da última guerra parece que já passaram de moda, para dar lugar ao bombardeio atômico, por meio de teleguiados e fogos e por bombardeios convencionais sob novo e surpreendente estilo e *performance*.

Na guerra de amanhã, os Estados Unidos e seus aliados precisarão levar em conta todos esses fatores, para não se deixarem superar como aconteceu inicialmente à França e Inglaterra, ao estalar a 2ª Guerra Mundial.

Os princípios básicos da guerra continuam a ser hoje: *autopreservação e a preparação intensa para aniquilar o inimigo*.